



Kontrol korosi eksternal pada sistem perpipaan logam bawah tanah atau terbenam



© BSN 2010

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang menyalin atau menggandakan sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun dan dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Contents

Prakata		Preface	
1. Umum	1	1. General	1
2. Definisi	2	2. Definitions	2
3. Penentuan perlunya kontrol korosi	8	3. Determination of Need for External Corrosion Control	8
4. Desain sistem perpipaan	10	4. Piping Systems Design	10
5. Pelapisan eksternal	16	5. External Coatings	16
6. Kriteria dan pertimbangan lain untuk proteksi katodik	27	6. Criteria and Other Considerations for CP	27
7. Desain sistem proteksi katodik	37	7. Design of Cathodic protection Systems	37
8. Pemasangan sistem proteksi katodik	46	8. Installation of CP Systems	46
9. Kontrol arus interferensi	50	9. Control of Interference Currents	50
10. Pengoperasian dan pemeliharaan sistem proteksi katodik	55	10. Operation and Maintenance of CP Systems	55
11. Rekod pengendalian korosi	58	11. External Corrosion Control Records	58
Acuan	62	References	62
Tabel 1	20	Table 1	20
Tabel 2	20	Table 2	20
Tabel 3	21	Table 3	21
Tabel 4	22	Table 4	22
Tabel 5	23	Table 5	23
Bibliography for Section 6	33	Bibliography for Section 6	33
Bibliography for Section 7	45	Bibliography for Section 7	45
Lampiran A	65	Appendix A	65
Lampiran B	66	Appendix B	66
Lampiran C	67	Appendix C	67
Lampiran D	68	Appendix D	68

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) *Kontrol korosi eksternal pada sistem perpipaan logam bawah tanah atau terbenam* adalah revisi SNI 13-4184-1996 *Kontrol korosi eksternal pada sistem perpipaan metalik bawah tanah atau terbenam*. Standar ini mengacu dari standar NACE SP 0169:2007 dengan judul *Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems*.

SNI dibuat dengan menggunakan metode dua bahasa. Apabila pengguna menemukan keraguan dalam standar ini maka disarankan untuk melihat standar aslinya dan/atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 75-01: *Material, peralatan dan instrumentasi minyak dan gas bumi*, Sub Panitia Teknis 75-01/SC2: *Pipeline transportation systems* dan telah dikonsensuskan dalam Forum Konsensus ke-14 Rancangan Standar Nasional Indonesia Sub Bidang Minyak dan Gas Bumi pada tanggal 23 s.d. 24 November 2009 di Jakarta yang dihadiri oleh wakil-wakil dari pemerintah, produsen, konsumen, tenaga ahli, dan institusi terkait lainnya. SNI ini juga telah melalui konsensus nasional yaitu jajak pendapat pada tanggal 10 Mei 2010 sampai dengan 10 Juli 2010 dan langsung disetujui menjadi Rancangan Akhir SNI (RASNI) untuk ditetapkan menjadi SNI.



Kontrol korosi eksternal pada sistem perpipaan logam bawah tanah atau terbenam

Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems

1 Umum

1.1 Standar ini menjelaskan praktek kontrol korosi eksternal yang diakui pada sistem perpipaan baja, besi cor, *ductile iron*, tembaga, dan aluminium yang tertimbun atau terbenam

1.2 Standar ini dimaksudkan sebagai panduan untuk menetapkan persyaratan minimum untuk kontrol korosi pada sistem berikut ini:

1.2.1 Sistem perpipaan baru: Kontrol korosi dengan pelapis yang dilengkapi proteksi katodik atau metoda lain yang telah terbukti keandalannya sebaiknya diberikan pada awal desain dan dirawat selama sistem perpipaan beroperasi, kecuali penyelidikan menunjukkan bahwa kontrol korosi tidak diperlukan. Pertimbangan sebaiknya diberikan pada konstruksi pipa penyalur sedemikian rupa agar dapat menyediakan fasilitas untuk penggunaan peralatan inspeksi *in-line*.

1.2.2 Sistem perpipaan terlapis yang terpasang: Proteksi katodik sebaiknya diberikan dan dirawat, kecuali penyelidikan menunjukkan bahwa proteksi katodik tidak diperlukan.

1.2.3 Sistem perpipaan tak terlapis yang terpasang: Sebaiknya dilakukan studi untuk menetapkan tingkat dan laju korosi pada sistem perpipaan tak terlapis. Jika studi menunjukkan bahwa korosi akan berdampak terhadap keselamatan atau sistem operasi yang ekonomis, maka sebaiknya dilakukan upaya kontrol korosi yang memadai.

1.3 Standar ini sebaiknya digunakan di bawah arahan personil kompeten yang berkualifikasi dalam praktek kontrol korosi pada sistem perpipaan logam yang tertimbun atau terbenam, berdasarkan

1 General

1.1 This standard presents acknowledged practices for the control of external corrosion on buried or submerged steel, cast iron, ductile iron, copper, and aluminum piping systems

1.2 This recommended practice is intended to serve as a guide for establishing minimum requirements for control of corrosion on the following systems:

1.2.1 New piping systems: Corrosion control by coating supplemented with cathodic protection, or by some other proven method, should be provided in the initial design and maintained during the service life of the piping system, unless investigations indicate that corrosion control is not required. Consideration should be given to the construction of pipelines in a manner that facilitates the use of in-line inspection tools.

1.2.2 Existing coated piping systems: Cathodic protection should be provided and maintained, unless investigations indicate that cathodic protection is not required.

1.2.3 Existing, bare piping systems: Studies should be made to determine the extent and rate of corrosion on existing bare piping systems. When these studies indicate that corrosion will affect the safe or economic operation of the system, adequate corrosion control measures should be taken.

1.3 The provisions of this recommended practice should be applied under the direction of competent persons who, by reason of knowledge of the physical sciences and the principles of engineering

pengetahuan di bidang fisika, teknik, dan matematik, yang disyaratkan oleh pendidikan dan pengalaman praktis terkait. Personil tersebut bisa sarjana ternik professional yang terdaftar atau personil yang diakui sebagai spesialis korosi atau proteksi katodik oleh asosiasi korosi dan/atau institusi lain yang diakui secara nasional dan internasional.

1.4 Kadang-kadang ada kondisi khusus ketika proteksi katodik tidak efektif atau hanya efektif sebagian. Kondisi ini termasuk temperatur tinggi, pelapis *disbonded*, pelapis isolasi termal, *shielding*, serangan bakteri, dan kontaminan yang tidak normal dalam elektrolit. Penyimpangan dari praktek standar dalam kondisi tersebut boleh dijamin asalkan personil kontrol korosi yang bertanggung jawab mampu menunjukkan bahwa tujuan yang dimaksud oleh standar tersebut sudah tercapai.

1.5 Standar ini tidak meliputi metoda kontrol korosi yang berdasarkan pada kontrol kimia terhadap lingkungan, pada penggunaan lapisan konduktif elektrik, atau pada kontrol korosi internal.

2 Definisi

logam amfoter

suatu logam yang rentan terhadap korosi baik dalam lingkungan asam maupun alkali

anoda

elektroda dari suatu sel elektro kimia tempat terjadinya reaksi oksidasi. Elektron berpindah dari anoda melalui sirkuit eksternal. Korosi umumnya terjadi dan ion logam masuk ke dalam larutan pada anoda

polarisasi anodik

perubahan potensial elektroda ke arah muatan lebih elektro-positif yang disebabkan oleh arus yang mengalir melewati antarmuka elektroda/elektrolit (lihat Polarisation)

and mathematics, acquired by education and related practical experience, are qualified to engage in the practice of corrosion control on buried or submerged metallic piping systems. Such persons may be registered professional engineers or persons recognized as corrosion specialists or cathodic protection specialists by NACE if their professional activities include suitable experience in corrosion control of buried or submerged metallic piping systems.

1.4 Special conditions sometimes exist where cathodic protection is ineffective or only partially effective. Such conditions may include elevated temperatures, disbonded coatings, thermal insulating coatings, shielding, bacterial attack, and unusual contaminants in the electrolyte. Deviation from the recommended practice may be warranted in specific situations provided that corrosion control personnel in responsible charge are able to demonstrate that the objectives expressed in the recommended practice have been achieved.

1.5 This standard does not include corrosion control methods based on chemical control of the environment, on the use of electrically conductive coatings, or on control of internal corrosion.

2 Definitions

amphoteric metal

a metal that is susceptible to corrosion in both acid and alkaline environments

anode

the electrode of an electrochemical cell at which oxidation occurs. Electrons flow away from the anode in the external circuit. Corrosion usually occurs and metal ions enter solution at the anode.

anodic polarization

the change of the electrode potential in the noble (positive) direction caused by current across the electrode/electrolyte interface (See Polarization)

backfill

material yang ditempatkan pada lubang untuk mengisi ruang di sekitar anoda, pipa ventilasi, dan komponen sistem proteksi katodik yang terpendam

kurva beta

kurva antara arus interferensi dinamis (berfluktuasi) atau voltase proporsional (ordinat) dan potensial struktur-ke-elektrolit pada lokasi tertentu di struktur (absis) (lihat lampiran A [informatif])

kabel

satu atau lebih konduktor yang diisolasi satu terhadap yang lain

katoda

elektroda dari suatu sel elektrolitik tempat terjadi reaksi reduksi. Elektron berpindah ke arah katoda melalui sirkuit eksternal

katodik disbondment

kerusakan adhesi antara lapisan dan permukaan yang dilapis yang disebabkan oleh produk dari reaksi katodik

polarisasi katodik

perubahan potensial elektroda ke arah aktif (negatif) yang disebabkan oleh mengalirnya arus elektroda/elektrolit (lihat Polarisation)

proteksi katodik

teknik untuk mengurangi korosi permukaan logam dengan mengubah permukaan tersebut menjadi bersifat katoda

lapisan

cairan, material yang mudah cair, atau komposisi mastik yang setelah aplikasi lapisan ke permukaan berubah menjadi pelindung padat, dekoratif atau lapisan tipis yang merekat

coating disbondment

hilangnya daya adhesi antara lapisan dan permukaan pipa

backfill

Material placed in a hole to fill the space around the anodes, vent pipe, and buried components of a cathodic protection system.

beta curve

A plot of a dynamic (fluctuating) interference current or related proportional voltage (ordinate) versus the corresponding structure-to-electrolyte potentials at a selected location on the affected structure (abscissa) (see Appendix A [nonmandatory])

cable

one conductor or more than one insulated from one another

cathode

the electrode of an electrolytic cell at which reduction is the principle reaction. Electrons flow toward the cathode in the external circuit.

cathodic disbondment

the destruction of adhesion between a coating and the coated surface caused by products of a cathodic reaction.

cathodic polarization

the change of electrode potential in the active (negative) direction caused by current across the electrode/electrolyte. (see Polarization)..

cathodic protection

a technique to reduce the corrosion of a metal surface by making that surface the cathode of an electrochemical cell

coating

a liquid, liquefiable, or mastic composition that, after application to a surface, is converted into a solid protective, decorative, or functional adherent film.

coating disbondment

the loss of adhesion between a coating and the pipe surface

konduktor

material yang sesuai untuk mengalirkan arus listrik. Material tersebut dapat tak terlapis atau terisolasi

sambungan kontinyu

penghubung, biasanya logam, yang memungkinkan kontinuitas listrik antara struktur yang dapat mengalirkan listrik

korosi

kerusakan suatu material, biasanya logam, yang disebabkan oleh reaksi dengan lingkungannya

potensial korosi (E_{corr})

potensial dari permukaan yang terkorosi di dalam elektrolit relatif terhadap elektroda acuan pada kondisi sirkuit-terbuka (juga dikenal sebagai *rest potential*, *open-circuit potential*, atau *freely corroding potential*)

laju korosi

laju ketika korosi berlangsung.

kriteria

standar untuk penilaian keefektifan suatu sistem proteksi katodik

densitas arus

arus ke atau dari suatu luas satuan permukaan elektroda.

dioda

suatu peralatan semikonduktor dua kutub yang mempunyai tahanan rendah pada satu arah dan tahanan tinggi pada arah yang lain

sistem arus tanding anode terdistribusi

Konfigurasi anoda arus tanding yang anodanya didistribusikan sepanjang struktur dengan interval yang relatif rapat sehingga strukturnya berada pada masing-masing gradien tegangan anoda. Konfigurasi anoda ini menyebabkan elektrolit di sekitar struktur menjadi positif terhadap bumi.

isolasi elektrik

kondisi yang terpisah secara elektrik dari struktur logam yang lain atau dari

conductor

a material suitable for carry an electric current. It may be bare or insulated

continuity bond

a connection, usually metallic, that provides electrical continuity between structures that can conduct electricity.

corrosion

the deterioration of a material, usually a metal, that result from a reaction with its environment

corrosion potential (E_{corr})

the potential of corroding, surface in an electrolyte relative to a reference electrode under open-circuit conditions (also known as *rest potential*, *open-circuit potential*, or *freely corroding potential*).

corrosion rate

the rate at which corrosion proceeds. ¶

criterion

standard for assessment of the effectiveness of a cathodic protection system

current density

the current to or from a unit area of an eletrode surface.

diode

a bipolar semiconducting device having a low resistance in one direction and a high resistance in the other

distributed-anode impressed current system

An impressed current anode configuration in which the anodes are "distributed" along the structure at relatively closed intervals such that the structure is within each anode's voltage gradient. This anode configuration causes the electrolyte around the structure to become positive which respect to remote earth.

electrical isolation

the condition of being electrically separated from other metallic structures or the

lingkungan

environment

survei elektrik

teknik yang menyangkut pengambilan pengukuran elektrik yang terkoordinasi untuk memberikan suatu dasar pengu-rangan yang berkaitan dengan kondisi tertentu elektrokimia yang berhubungan dengan korosi atau kontrol korosi

electrical survey

any technique that involves coordinated electrical measurement taken to provide a basis for deduction concerning a particular electrochemical condition relating to corrosion or corrosion control

elektroda

konduktor yang dihubungkan dengan suatu elektrolit dan melalui arus yang dikirim ke atau dari suatu elektrolit.

electrode

A conductor used to establish contact with an electrolyte and through which current is tranferred to or from an electrolyte.

efek elektroosmotik

lintasan dari suatu partikel bermuatan melalui membran di bawah pengaruh voltase. Tanah atau lapisan dapat bertindak sebagai membrane

electroosmotic effect

passage of a charged particle through a membrane under the influence of a voltage. Soil or coatings may act as the membrane

elektrolit

suatu material kimia atau campuran yang mengandung ion yang berpindah ke medan elektrik. Untuk tujuan standar ini, elektrolit adalah tanah atau cairan yang berdekatan dan berhubungan dengan sistem perpipaan logam yang tertimbun atau terbenam, termasuk kelembaban dan material kimia lain yang terkandung di dalamnya

electrolyte

a chemical substance containing ions that migrate in an electric field. For the purpose of this standard electrolyte refers to the soil or liquid adjacent to and in contact with a buried or submerged metallic piping system, including the moisture and other chemicals contained therein

struktur asing

struktur logam apa pun yang tidak dimaksudkan sebagai bagian dari sistem proteksi katodik

foreign structure

any metallic structure that is not intended as a part of the system under cathodic protection

anoda galvanik

logam yang memberikan proteksi terhadap logam lainnya yang lebih mulia yang dihubungkan dalam suatu elektrolit secara elektrik. Jenis anoda ini adalah sumber elektron pada proteksi katodik.

galvanic anode

a metal that provides sacrificial protection to another metal that is more noble when electrically coupled in an electrolyte. This type of anode is the electron source in one type of cathodic protection

seri galvanik

suatu daftar logam dan aloi yang disusun sesuai dengan potensial korosi mereka di dalam suatu lingkungan tertentu

galvanic series

a list of metals and alloys arranged according to their corrosion potentials in a given environment

Groundbed

Satu atau lebih anode yang dipasang di bawah tanah untuk tujuan memberikan proteksi katodik.

Groundbed

One or more anode installed below the earth's surface for the purpose of supplying cathodic protection.

holiday

suatu diskontinuitas di dalam lapisan pelindung yang tembus ke permukaan yang tidak terlindungi.

arus tanding

arus listrik yang disuplai oleh peralatan dengan memanfaatkan sumber tenaga listrik eksternal ke sistim elektroda. (sebagai contoh adalah arus langsung untuk proteksi katodik).

inspeksi *in-line*

inspeksi terhadap suatu saluran pipa baja dengan menggunakan instrumen elektronik atau peralatan yang berjalan di sepanjang bagian dalam saluran pipa

sistem pelapisan insulasi

semua komponen dari lapisan protektif, yang semuanya memberikan isolasi elektrik yang efektif terhadap struktur yang dilapisi

interferensi

setiap gangguan elektrik pada struktur logam sebagai akibat dari arus sesat

sambungan interferensi

sebuah sambungan logam diantara sistim logam yang berhubungan dengan elektrolit, yang didesain untuk kontrol perpindahan arus elektrik/listrik di antara sistem.

IR drop

voltase pada sebuah tahanan sesuai dengan hukum Ohm

isolasi

lihat Isolasi Elektrik

arus lini

arus searah yang mengalir pada suatu pipa penyalur

arus lini panjang

arus yang mengalir melalui tanah antara daerah anodik dan katodik sepanjang struktur logam di bawah permukaan tanah

potensial gabungan

suatu potensial yang diakibatkan oleh dua atau lebih reaksi elektrokimia yang terjadi secara simultan pada satu permukaan

holiday

a discontinuity in a protective coating that exposes unprotected surface to the environment.

impressed current

An electric current supplied by device employing a power source that is external to the electrode system. (an example is direct current for cathodic protection).

in-line inspection

the inspection of a steel pipeline using an electronic instrument or tool that travels along the interior of the pipeline

insulating coating system

all components of the protective coating, the sum of which provides effective electrical isolation of the coated structure

interference

any electrical disturbance on a metallic structure as a result of stray current

interference bond

an intentional metallic connection, between metallic systems in contact with a common electrolyte, designed to control electrical current interchange between systems

IR drop

the voltage across a resistance in accordance with Ohm's law

isolation

see Electrical Isolation

line current

the direct current flowing on a pipeline

long-line current

current through the earth between an anodic and a cathodic area that returns along an underground metallic structure

mixed potential

a potential resulting from two or more electrochemical reactions occurring simultaneously on one metal surface

logam

potensial pipa dan elektrolit

lihat potensial struktur dan elektrolit

pipe-to-electrolyte potential

see Structure-to-Electrolyte Potential

polarisasi

perubahan dari potensial sirkuit-terbuka sebagai hasil dari arus yang mengalir ke penghubung elektroda / elektrolit.

polarization

The change from the open-circuit potential as a result of current across electrode/electrolyte interface.

potensial yang terpolarisasi

potensial di sepanjang struktur/batas elektrolit yang merupakan jumlah dari potensial korosi dan polarisasi katodik

polarized potential

the potential across the structure/electrolyte interface that is the sum of the corrosion potential and the cathodic polarization

elektroda referensi

elektroda yang potensial sirkuit-terbukanya konstan pada kondisi pengukuran yang sama, yang digunakan untuk mengukur potensial relatif dari elektroda yang lainnya.

reference electrode

an electrode whose open-circuit potential is constant under similar conditions of measurement, which is used for measuring the relative potentials of other electrodes.

saklar arus-balik

sebuah alat yang mencegah berbaliknya arus searah melalui konduktor logam

reverse-current switch

a device that prevents the reversal of direct current through a metallic conductor

pelindung

(1) melindungi; tutup pelindung terhadap kerusakan mekanis (2). mencegah atau menyimpangkan arus proteksi katodik dari lintasannya

shielding

(1) protecting; protective cover against mechanical damage. (2) preventing or diverting the cathodic protection current from its intended path

shorted pipeline casing

sebuah casing yang kontak langsung secara logam dengan pipa salur

shorted pipeline casing

a casing that is in direct metallic contact with the carrier pipe

praktek enjinering yang baik

alasan yang didasarkan pada pengetahuan dan pengalaman yang menyeluruh, logis, dan memiliki dasar pemikiran teknis yang benar yang menunjukkan pertimbangan atau penilaian yang baik di dalam aplikasi ilmu

sound engineering practices

reasoning exhibited or based on thorough knowledge and experience, logically valid and having technically correct premises that demonstrate good judgement or sense in the application of science

arus liar

arus yang mengalir melalui di luar sirkuit yang dimaksudkan.

stray current

current through paths other than the intended circuit

korosi arus liar

korosi yang disebabkan oleh arus yang melalui jalur lain selain jalur sirkuit yang dimaksud, contoh, arus yang tidak jelas yang ada di dalam tanah.

stray current corrosion

corrosion resulting from current through paths other than the intended circuit, e.g., by any extraneous current in the the earth.

potensial struktur dan elektrolit

Perbedaan potensial diantara permukaan struktur logam yang terpendam atau terbenam dan elektrolit yang diukur dengan referensi suatu elektroda saat kontak dengan elektrolitnya.

arus telurik

arus yang mengalir didalam tanah sebagai akibat dari fluktuasi magnet bumi

voltase

suatu daya elektromotif atau sebuah perbedaan di dalam potensial elektroda yang dinyatakan dalam volt

kawat

suatu batang logam kecil atau filamen logam. Dalam praktek, istilah ini juga digunakan untuk *gauge conductor* yang lebih kecil (No. 10 AWG atau yang lebih kecil)

CATATAN:

(1) Definisi-definisi pada bagian ini merefleksikan penggunaan yang umum di antara petugas kontrol korosi dan berlaku secara spesifik sesuai dengan istilah-istilah yang digunakan di dalam standard ini. Dalam banyak kasus, untuk penggunaan yang singkat dan praktis, definisi-definisi bersifat ilmiah disingkat atau dibentuk frasa.

3 Penentuan perlunya kontrol korosi

3.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah merekomendasikan praktek untuk menentukan kapan sebuah sistem perpipaan logam tertimbun atau terbenam memerlukan kontrol korosi.

3.1.2 Korosi bisa terjadi pada struktur logam tertimbun atau terbenam. Prosedur kontrol korosi yang memadai sebaiknya diadakan guna menjamin integritas logam untuk operasi yang aman dan ekonomis.

3.2 Keperluan kontrol korosi sebaiknya didasarkan pada data yang diperoleh dari satu atau beberapa hal berikut ini: survei korosi, rekod pengamatan visual, hasil tes

structure-to-electrolyte potential

The potential difference between the surface of a buried or submerged metallic structure and electrolyte that is measured with reference to an electrode in contact with the electrolyte.

telluric current

current in the earth as a result of geomagnetic fluctuations

voltage

an electromotive force or a difference in electrode potentials expressed in volts

wire

a slender rod or filament of drawn metal. In practice, the term is also used for smaller gauge conductors (6 mm² [No. 10 AWG⁽²⁾] or smaller)

NOTE:

(1) Definitions in this section reflect common usage among practising corrosion control personnel and apply specifically to how the terms are used in this standard. In many cases, in the interests of brevity and practical usefulness, the scientific definitions are abbreviated or paraphrased.

3 Determination of need for corrosion control

3.1.1 The purpose of this section is to recommend practices for determining when an underground or submerged metallic piping system requires corrosion control.

3.1.2 Metallic structures, buried or submerged, are subject to corrosion. Adequate corrosion control procedure should be adopted to ensure metal integrity for safe and economical operation.

3.2 The need for corrosion control should be based on data obtained from one or more of the following: corrosion surveys, operating records, visual observations, test results

dari sistem dalam lingkungan yang serupa, inspeksi *in-line*, spesifikasi desain dan engineering, operasi, keselamatan, dan persyaratan ekonomis. Tidak adanya kebocoran pada pipa penyalur tidak cukup memberi alasan bahwa kontrol korosi tidak diperlukan.

3.2.1 Faktor fisik dan lingkungan termasuk hal-hal berikut:

3.2.1.1 Laju korosi sistem perpipaan logam tertentu di dalam lingkungan yang spesifik (lihat Apendiks B);

3.2.1.2 Keadaan produk yang sedang diangkut, temperatur kerja, perbedaan temperatur dalam pipa penyalur yang menyebabkan ekspansi dan kontraksi panas, kecenderungan material penimbun untuk menimbulkan tegangan tanah, tekanan kerja sistem perpipaan sehubungan dengan spesifikasi desain;

3.2.1.3 Lokasi sistem perpipaan sehubungan dengan kepadatan dan frekuensi kunjungan petugas;

3.2.1.4 Lokasi sistem perpipaan dalam hubungannya dengan fasilitas lain; dan

3.2.1.5 Sumber arus sesat asing pada sistem.

3.2.2 Faktor-faktor ekonomis mencakup hal-hal berikut ini:

3.2.2.1 Biaya perawatan sistem perpipaan yang dioperasikan untuk masa pakai yang diharapkan (lihat lampiran B [informatif]).

3.2.2.2 Biaya kontingensi korosi (lihat lampiran C [informatif]).

3.2.2.3 Biaya kontrol korosi (lihat lampiran D [informatif]).

form similar systems in similar environments, in-line inspections, engineering and design specifications, and operating, safety, and economic requirements. The absence of leaks alone is insufficient evidence that corrosion control is not required.

3.2.1 Environmental and physical factors include the following:

3.2.1.1 Corrosion rate of the particular metallic piping system in a specific environment (see Appendix B);

3.2.1.2 Nature of the product being transported, the working temperature, temperature differentials within the pipeline causing thermal expansion and contractions, tendency of backfill to produce soil stress, and working pressure of the piping system as related to design specification;

3.2.1.3 Location of the piping system as related to population density and frequency of visits by personnel;

3.2.1.4 Location of the piping system as related to other facilities; and

3.2.1.5 Stray current source foreign to the system.

3.2.2 Economic factors include the following:

3.2.2.1 Costs of maintaining the piping system in service for its expected life (see Appendix B [nonmandatory]).

3.2.2.2 Contingent costs of corrosion (see Appendix C [nonmandatory]).

3.2.2.3 Costs of corrosion control (see Appendix D [nonmandatory]).

4 Desain sistem perpipaan

4.1 Pendahuluan

4.1.1 Tujuan dari bab ini adalah untuk memberikan praktek kontrol korosi yang diterima di dalam desain sistem perpipaan bawah tanah atau terbenam. Selama tahap desain dan konstruksi pipa penyalur sebaiknya berkonsultasi dengan personil yang berkualifikasi dalam praktek kontrol korosi (lihat paragraf 1.3). Rekomendasi ini sebaiknya tidak ditafsirkan sebagai hal yang lebih dari praktek keselamatan listrik yang telah diakui.

4.2 Kontrol korosi Eksternal

4.2.1 Sejak awal desain sistem perpipaan, kontrol korosi eksternal harus dipertimbangkan sebagai hal yang utama. Pemilihan material dan pelapis adalah unsur pertama dalam menanggulangi korosi. Karena pelapisan yang sempurna tidak mungkin diperoleh, maka proteksi katodik harus digunakan bersama dengan pelapis. Untuk keterangan lebih lanjut lihat Bagian 5 dan 6

4.2.2 Sistem perpipaan baru sebaiknya dilapisi, kecuali penyelidikan yang menyeluruh menunjukkan bahwa pelapisan tidak diperlukan (lihat Bab 5.).

4.2.3 Material dan praktek konstruksi yang menimbulkan penyekatan listrik sebaiknya tidak digunakan dalam pipa penyalur. Pipa penyalur sebaiknya dipasang di lokasi di mana kedekatannya dengan struktur yang lain dan formasi di bawah permukaan tanah tidak menimbulkan sekatan.

4.3 Isolasi listrik

4.3.1 Peralatan isolasi seperti rakitan flensa, sambungan union pra-fabrikasi atau kopling sebaiknya dipasang pada sistem perpipaan di mana isolasi listrik pada sistem tersebut diperlukan untuk memudahkan kontrol korosi. Peralatan ini sebaiknya dipilih dengan benar untuk temperatur, tekanan, resistansi, kimia, resistansi dielektrik, dan kekuatan mekanis. Di daerah yang

4 Piping system design

4.1 Introduction

4.1.1 The purpose of this section is to provide accepted corrosion control practices in the design of an underground or submerged piping system. A person qualified to engage in the practice of corrosion control should be consulted during all phases of pipeline design and construction (see Paragraph 1.3). These recommendations should not be construed as taking precedence over recognized electrical safety practices.

4.2 External Corrosion control

4.2.1 External Corrosion control must be a primary consideration during the design of a piping system. Materials selection and coatings are the first line of defence against corrosion. Because perfect coatings are not feasible, cathodic protection must be used in conjunction with coatings. For additional information, see Section 5 and 6.

4.2.2 New piping system should be coated unless thorough investigation indicates that coatings are not required (see Section 5).

4.2.3 Materials and construction practices that create electrical shieldincy should not be used on the pipeline. Pipelines should be installed at locations where proximity to other structures and subsurface formations will not cause shielding.

4.3 Electrical isolation

4.3.1 Isolation devices such as flange assemblies, prefabricated joint unions, or couplings should be installed within piping systems where electrical isolations of portions of the system is required to facilitate the application of corrosion control. These devices should be property selected for temperature, pressure, chemical resistance, dielectric resistance, and

lingkungannya kemungkinan mudah terbakar, pemasangan peralatan isolasi sebaiknya dihindarkan atau dilindungi. Jika peralatan isolasi listrik dipertimbangkan untuk dipasang, lokasinya meliputi antara lain:

4.3.1.1 Daerah di mana kepemilikan berganti, seperti stasiun meter atau kepala sumur;

4.3.1.2 Koneksi ke saluran utama sistem perpipaan, seperti cabang sistem pengumpulan dan sistem distribusi;

4.3.1.3 Perpipaan *outlet* dan *inlet* pada stasiun pengukuran *in-line* dan/atau pengatur tekanan;

4.3.1.4 Stasiun kompresor atau pompa pada pipa isap dan pipa buang atau pada saluran utama di hulu atau hilir di dekat stasiun;

4.3.1.5 Daerah arus sesat;

4.3.1.6 Persambungan logam yang tidak sejenis;

4.3.1.7 Ujung koneksi saluran servis dan pipa masuk;

4.3.1.8 Persambungan pipa yang berlapis dan pipa yang tidak berlapis; dan

4.3.1.9 Lokasi di mana pentanahan listrik digunakan, seperti katup-katup dan instrumentasi yang digerakkan oleh motor.

4.3.2 Perlunya penangkal petir dan proteksi *fault current* pada peralatan isolasi sebaiknya dipertimbangkan. Koneksi kabel penghubung dari peralatan isolasi ke *arrestor* sebaiknya pendek, langsung, dan ukurannya sesuai untuk beban arus yang tinggi dalam waktu yang pendek.

4.3.3 Ketika casing logam diperlukan sebagai bagian dari sistem perpipaan bawah tanah, pipa penyalur sebaiknya diisolasi secara elektrik dari *casing*. Insulator casing harus berukuran, diberi

mechanical strength. Installation of isolation devices should be avoided or safeguarded in areas where combustible atmospheres are likely to be present. Locations where electrical isolating devices should be considered include, but are not limited to, the following:

4.3.1.1 Points at which facilities change ownership, such as meter stations and well heads;

4.3.1.2 Connections to main line piping systems, such as gathering or distribution system laterals;

4.3.1.3 Inlet and outlet piping of in-line measuring and/or pressure regulating stations;

4.3.1.4 Compressor or pumping stations, either in the suction and discharge piping or in the main line immediately upstream and downstream of the stations;

4.3.1.5 Stray current areas;

4.3.1.6 The junction of dissimilar metals;

4.3.1.7 The termination of service line connections and entrance piping;

4.3.1.8 The junction of a coated pipe and a bare pipe; and

4.3.1.9 Locations where electrical grounding is used, such as motorized valves and instrumentation.

4.3.2 The need for lightning and fault current protection at isolating devices should be considered. Cable connections from isolating devices to arrestors should be short, direct, and of a size suitable for short-term, high-current loading.

4.3.3 When metallic casing are required as part of the under-ground piping system, the pipeline should be electrically isolated from such casings. Casing insulators must be properly sized, spaced, and tightened

jarak dengan benar, dan diikat dengan kuat ke pipa penyalur untuk menahan tegangan pada waktu memasukkan pipa ke dalam casing. Sebaiknya dilakukan inspeksi untuk membuktikan bahwa *leading insulator* tetap berada pada posisinya. Pelapis beton pada *carrier pipe* dapat menghalangi penggunaan *casing insulator*. Sebaiknya dipertimbangkan untuk menggunakan penyangga di bawah pipa penyalur pada setiap ujung casing untuk meminimalkan *settlement*. Tipe penyangga yang dipilih sebaiknya tidak menyebabkan kerusakan pada pelapis pipa atau bertindak sebagai penyekat pada arus proteksi katodik.

4.3.4 Penyekat casing sebaiknya dipasang untuk menahan masuknya benda asing ke dalam casing.

4.3.5 Ketika kontak elektrik akan berakibat buruk terhadap proteksi katodik, sistem perpipaan sebaiknya diisolasi secara elektrik dari tiang penyangga pipa, struktur jembatan, penutup terowongan, tiang pancang, struktur lepas pantai, atau beton berpenguat besi. Akan tetapi pipa dapat diikatkan langsung ke jembatan tanpa isolasi jika peralatan isolasi dipasang pada sistem perpipaan pada sisi setiap jembatan untuk mengisolasi pipa secara elektrik dari pipa bawah tanah di dekatnya.

4.3.6 Jika diperlukan sambungan isolasi, sebaiknya digunakan peralatan yang dibuat untuk melakukan fungsi ini, atau jika diijinkan, bisa dipasang satu seksi pipa yang non-konduktif seperti pipa plastik. Dalam kedua hal tersebut sebaiknya diperingkatkan secara wajar dan dipasang sesuai dengan instruksi pamanufaktur. Untuk sambungan atau flensa isolasi harus dipasang di atas tanah.

4.3.7 *River weight*, jangkar pipa penyalur dan penguat logam di dalam pelapis pemberat sebaiknya diisolasi secara elektrik dari *carrier pipe* dan didesain serta dipasang sedemikian rupa sehingga kerusakan lapisan tidak akan terjadi, atau *carrier pipe* tidak akan tersekat secara elektrik.

securely on the pipeline to withstand insertion stresses without sliding on the pipe. Inspections should be made to verify that the leading insulator has remained in position. Concrete coatings on the carrier pipe could preclude the use of casing insulators. Consideration should be given to the use of support under the pipeline at each end of the casing to minimize settlement. The type of support selected A should not cause damage to the pipe coating nor act as a shield at cathodic protection current.

4.3.4 Casing seals should be installed to resist the entry of foreign matter into the casing.

4.3.5 When electrical contact would adversely affect cathodic protection, piping systems should be electrically isolated from supporting pipe stanchions, bridge structures, tunnel enclosures, piling, offshore structures, or reinforcing steel in concrete. However, piping can be attached directly to a bridge without isolation if the isolating devices are installed in the pipe system on each side of the bridge to electrically isolate the bridge piping from adjacent underground piping.

4.3.6 When an isolating joint is required, a device manufactured to perform this function should be used, or if permissible, a section of non-conductive pipe, such as plastic pipe, may be installed. In either case, these should be properly rated and installed in accordance with manufacturer's instructions.

4.3.7 River weights, pipeline anchors, and metallic reinforcement in weight coatings should be electrically isolated from the carrier pipe and designed and installed so that coating damage will not occur, or the carrier pipe will not be electrically shielded.

4.3.8 *Metallic curb box* dan penutup katup sebaiknya didesain, difabrikasi, dan dipasang sedemikian rupa sehingga isolasi elektrik sistem perpipaan dapat dipertahankan.

4.3.9 Material spasi isolasi sebaiknya digunakan jika hal itu dimaksudkan untuk mempertahankan isolasi elektrik antara selubung dinding logam dan pipa.

4.3.10 Sistem perpipaan bawah tanah sebaiknya dipasang agar terpisah secara fisik dari semua struktur logam bawah tanah yang lain pada simpangan dan pemasangan yang sejajar dan jika diinginkan isolasi elektrik dapat dipertahankan sesuai dengan keinginan.

4.3.11 Berdasarkan *voltage rating* dari saluran transmisi AC, pemisahan yang memadai sebaiknya dijaga antara pipa penyalur dan kaki tower transmisi listrik, kabel tanah, dan *counterpoise*. Bagaimana pun pemisahannya, sebaiknya selalu dipertimbangkan adanya petir dan *fault current* dari pipa penyalur dan keselamatan personil (lihat standar NACE RP0177 [revisi terakhir]).

4.4 Kontinuitas elektrik

4.4.1 Sambungan pipa yang tidak dilas mungkin tidak terhubung secara elektrik. Kontinuitas elektrik dapat diyakinkan dengan penggunaan *fitting* yang dimanufaktur untuk maksud ini atau dengan ikatan silang dan sambungan mekanis yang efektif.

4.5 Stasiun tes kontrol korosi

4.5.1 Stasiun tes untuk pengukuran potensial, arus atau resistansi sebaiknya dibuat dengan jumlah yang cukup untuk memudahkan tes proteksi katodik. Lokasi-lokasi tersebut mencakup, tetapi tidak terbatas pada, hal-hal antara lain:

4.5.1.1 Pemasangan *casing* pipa,

4.5.1.2 Persilangan struktur logam,

4.3.8 *Metallic curb boxes* and valve enclosures should be designed, fabricated, and installed in such a manner that electrical isolation from the piping system will be maintained.

4.3.9 Insulating type spacing materials should be used where it is intended to maintain electrical isolation between a metallic wall sleeve and the pipe.

4.3.10 Underground piping systems should be installed so that they are physically separated from all foreign underground metallic structures at crossings and parallel installations and in such a way that electrical isolation could be maintained if desired.

4.3.11 Based on voltage rating of AC transmission lines, adequate separation should be maintained between pipelines and electric transmission tower footings, ground cables, and counterpoise. Regardless of separation, consideration should always be given to lightning and fault current protection of pipeline(s) and personnel safety (see NACE Standard RP0177 [latest revision]).

4.4 Electrical continuity

4.4.1 Non-welded pipe joints may not be electrically continuous. Electrical continuity can be ensured by the use of fittings manufactured for this purpose or by bonding across and to the mechanical joints in an effective manner.

4.5 Corrosion control test stations

4.5.1 Test stations for potential, current, or resistance measurements should be provided at sufficient locations to facilitate cathodic protection testing. Such locations may include, but not be limited to, the following:

4.5.1.1 Pipe casing installations,

4.5.1.2 Metallic structure crossings,

4.5.1.3 Sambungan isolasi,

4.5.1.4 Persilangan saluran air,

4.5.1.5 Persilangan jembatan,

4.5.1.6 Stasiun katup,

4.5.1.7 Pemasangan anoda galvanik,

4.5.1.8 Persilangan jalan,

4.5.1.9 Daerah arus sesat, dan

4.5. 1. 10 Pemasangan penyearah arus.

4.5.2 Rentang pipa yang digunakan untuk stasiun tes arus lini sebaiknya mencakup:

4.5.2.1 Persilangan struktur logam lain.

4.5.2.2 Koneksi lateral;

4.5.2.3 Kopling mekanis atau koneksi seperti ulir, potongan transisi, katup, flensa, anoda atau peralatan penyearah arus, atau ikatan logam; dan

4.5.2.4 Perubahan tebal dinding pipa dan diameter pipa.

4.5.3 Peralatan tambahan *dari copper test lead wires* ke pipa baja dan pipa *ferrous* lain.

4.5.3.1 *Test lead wires* boleh digunakan untuk pengetesan secara periodik maupun penghantaran arus. Dalam hal demikian kawat/peralatan tambahan pipa sebaiknya kuat secara mekanis dan konduktif secara elektrik.

4.5.3.2 Metoda pengikatan kawat pada pipa antara lain (a) proses las thermit (b) solder, dan (c) peralatan mekanik

4.5.3.3 Harus diberikan perhatian khusus terhadap metoda pengikatan untuk menghindari (a) kerusakan atau penetrasi pada pipa, (b) *sensitizing* atau perubahan properti pipa, (c) melemahnya *test lead*

4.5.1.3 Isolating joints,

4.5.1.4 Waterway crossings,

4.5.1.5 Bridge crossings,

4.5.1.6 Valves stations,

4.5.1.7 Galvanic anode installations,

4.5.1.8 Road crossings,

4.5.1.9 Stray current areas, and

4.5. 1. 10 Rectifier installations.

4.5.2 The span of pipe used for line current test stations should exclude :

4.5.2.1 Foreign metallic structure crossing;

4.5.2.2 Lateral connections;

4.5.2.3 Mechanical couplings or connections such as screwed joint, transition places, valves, flanges, anode or rectifier attachments, or metallic bonds; and

4.5.2.4 Changes in pipe wall thickness and diameter.

4.5.3 Attachment of copper test lead wires to steel and other ferrous pipes.

4.5.3.1 Test lead wires may be used for both periodic testing or for current carrying purposes. As such, the wire/pipe attachment should be mechanically strong and electrically conductive.

4.5.3.2 Methods of attaching wire to the pipe include (a) thermit welding process, (b) soldering and (c) mechanical means.

4.5.3.3 Particular attention must be given to the attachment method to avoid (a) damaging or penetrating the pipe, (b) sensitizing or altering of pipe properties, (c) weakening the test lead wire, (d) damaging

wire, (d) kerusakan pelapis pipa internal maupun eksternal, dan (c) timbulnya kondisi berbahaya dalam lingkungan yang eksplosif.

4.5.3.4 Pengikatan dengan peralatan mekanik adalah metoda yang kurang diinginkan. Koneksi tersebut dapat kendur, mempunyai resistansi yang tinggi, atau kehilangan kontinuitas elektrik.

4.5.3.5 Koneksi sebaiknya dites terhadap kekuatan mekanik dan kontinuitas elektrik. Semua bagian sambungan yang terbuka sebaiknya dibersihkan secara menyeluruh dari *welding slag*, kotoran, minyak, dan lain-lain, bila perlu dicat dasar dan dilapis dengan material yang kompatibel dengan insulasi pipa, pelapis pipa, dan lingkungan.

4.5.4 Pengikatan *Aluminum test lead wire* terhadap pipa aluminium

4.5.4.1 *Aluminum test lead wire*, atau *Aluminum tabs* diikat terhadap kawat aluminium, boleh dilas terhadap pipa aluminium menggunakan las proses TIG atau MIG. Ikatan lasan sebaiknya dibuat terhadap flense atau sambungan las *butt*. Pengikatan pada lapangan lain dapat mempengaruhi sifat mekanik pipa karena pemanasan dari pengelasan.

4.5.4.2 *Test lead wire* dapat diikat ke pipa aluminium dengan solder. Jika menggunakan solder titik leleh rendah, fluks dibutuhkan. Residu fluks dapat menyebabkan korosi kecuali dibuang.

CATATAN: Penggunaan *copper test lead wire* dapat menyebabkan serangan galvanik lebih cepat pada pipa aluminium. Jika kawat tembaga atau fluks digunakan, harus diperhatikan menutup area pengikatan terhadap uap air. Keberadaan uap air, sambungan dapat lepas dan rusak karena korosi.

4.5.4.3 *Aluminum tabs* yang dimana *test lead wires* dilas dengan proses TIG dapat diikat dengan teknik ikatan eksplosif yang disebut *high-energy joining*.

4.5.4.4 sambungan mekanis tetap aman dan bersifat pengantar listrik boleh

internal or external pipe coatings, and (e) creating hazardous conditions in explosive environments.

4.5.3.4 Attachment by mechanical means is the least desirable methods. Such a connection may loosen, become highly resistant, or lose electrical continuity.

4.5.3.5 The connection should be tested for mechanical strength and electrical continuity. All exposed portions of the connection should be thoroughly cleaned of all welding slag, dirt, oils, etc.; primed, if needed; and coated with materials compatible with the cable insulation, pipe coating and environment.

4.5.4 Attachment of Aluminum Test Lead Wire to Aluminum Pipes

4.5.4.1 Aluminum test lead wire, or aluminum tabs attached to aluminum wire, may be welded to aluminum pipe using the tungsten inert-gas shielded arc (TIG) or metal inert-gas shielded arc (MIG) process. Welded attachments should be made to flanges or at butt weld joints. Attachment at other sites may adversely affect the mechanical properties of the pipe because of the heat of welding.

4.5.4.2 Test lead wire may be attached to aluminum pipe by soldering. If low-melting-point soft solders are used, a flux is required. Flux residues may cause corrosion unless removed.

NOTE: The use of copper test lead wire may cause preferential galvanic attack on the aluminum pipe. When copper wire or flux is used, care must be taken to seal the attachment areas against moisture. In the presence of moisture, the connection may disbond and be damaged by corrosion.

4.5.4.3 Aluminum tabs to which test lead wires have been TIG welded can be attached by an explosive bonding technique called high-energy joining.

4.5.4.4 Mechanical connections that remain secure and electrically conductive may be

digunakan.

4.5.5 Pengikatan *Copper Test Lead Wire* terhadap pipa tembaga.

4.5.5.1 *Copper test lead wire*, atau *copper tabs attached* ke kawat tembaga, dapat diikat ke pipa tembaga dengan salah satu dari metoda berikut. Ketebalan relatif dari kawat dan dinding pipa menjadi penentu pemilihan metoda yang akan digunakan.

4.5.5.1.1 Las busur (TIG, MIG, atau SMAW);

4.5.5.1.2 Pengelasan *Electrical resistance (spot)* ;

4.5.5.1.3 Brazing;

4.5.5.1.4 Solder; atau

4.5.5.1.5 Sambungan mekanis.

4.5.5.2 Perhatian harus diberikan terhadap prosedur penyambungan yang benar untuk menghindari kemungkinan terjadinya penggetasan atau hilangnya sifat mekanis dari logam akibat pemanasan pengelasan atau brazing.

4.5.5.3 Fluks dibutuhkan, atau yang dihasilkan, jika brazing dengan beberapa logam pengisi atau solder dengan beberapa solder titik leleh rendah. Karena residu fluks dapat menyebabkan korosi, harus dibersihkan.

5 Pelapisan Eksternal

5.1 Pendahuluan

5.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah merekomendasikan praktek untuk memilih, menguji, mengevaluasi, memperlakukan, menyimpan, memeriksa, dan memasang sistem pelapisan untuk kontrol korosi pada sistem perpipaan.

Fungsi dari lapisan adalah untuk kontrol korosi dengan mengisolasi permukaan luar perpipaan bawah tanah atau yang terbenam dari lingkungannya, mengurangi persyaratan arus proteksi katodik dan

used.

4.5.5 Attachment of Copper Test Lead Wire to Copper Pipe.

4.5.5.1 Copper test lead wire, or copper tabs attached to copper wire, may be attached to copper pipe by one of the following methods. The relative thickness of the wire and the pipe wall dictates, in part, which of the methods can be used.

4.5.5.1.1 Arc welding (TIG, MIG, or shielded metal);

4.5.5.1.2 Electrical resistance (spot) welding;

4.5.5.1.3 Brazing;

4.5.5.1.4 Soldering; or

4.5.5.1.5 Mechanical connection.

4.5.5.2 Attention should be given to proper joining procedures to avoid possible embrittlement or loss of mechanical properties of the metals from the heat of welding or brazing.

4.5.5.3 A flux may be required, or self-produced, when brazing with some filler metals or soldering with some low-melting-point soft solders. Because flux residues may cause corrosion, they should be removed.

5 External Coatings

5.1 Introduction

5.1.1 The purpose of this section is to recommend practices for selecting, testing and evaluating, handling, storing, inspecting, and installing coating systems for corrosion control on piping systems.

The function of coatings is to control corrosion by isolating the external surface of the underground or submerged piping from the environment, to reduce cathodic protection current requirements, and to

meningkatkan distribusi arus.

improve current distribution

5.1.2 Lapisan eksternal harus dipilih dan diaplikasikan secara tepat dan pipa yang diberi lapisan ditangani dan dipasang secara hati-hati untuk memenuhi fungsi tersebut. Fungsi ini dapat diperoleh dari berbagai tipe pelapis.

5.1.2. External Coatings must be properly selected and applied, and the coated piping carefully handled and installed to fulfil these functions. Various types of coatings can accomplish the desired functions.

5.1.2.1 Karakteristik pelapis yang dikehendaki adalah sebagai berikut:

5.1.2.1 Desirable characteristics of coatings include the following:

5.1.2.1.1 Insulator elektrik yang efektif,

5.1.2.1.1 Effective electrical insulator,

5.1.2.1.2 Pembatas kelembaban efektif,

5.1.2.1.2 Effective moisture barrier,

5.1.2.1.3 Dapat diaplikasikan pada pipa dengan suatu cara yang tidak akan berpengaruh negatif terhadap properti pipa,

5.1.2.1.3 Application to pipe by a method that will not adversely affect the properties of the pipe,

5.1.2.1.4 Dapat diaplikasikan pada perpipaan dengan kerusakan minimal,

5.1.2.1.4 Application to piping with a minimum of defects,

5.1.2.1.5 Mempunyai daya adhesi yang baik pada permukaan pipa,

5.1.2.1.5 Good adhesion to pipe surface,

5.1.2.1.6 Mempunyai kemampuan untuk menahan perambatan *holiday* dalam kurun waktu tertentu,

5.1.2.1.6 Ability to resist development of holidays with time,

5.1.2.1.7 Mempunyai resistansi terhadap kerusakan selama penanganan, penyimpanan, dan pemasangan,

5.1.2.1.7 Ability to resist damage during handling, storage, and installation,

5.1.2.1.8 Memiliki kemampuan menjaga resistivitas listrik yang konstan secara substansial dalam kurun waktu tertentu,

5.1.2.1.8 Ability to maintain substantially constant electrical resistivity with time,

5.1.2.1.9 Tahan terhadap *disbonding*,

5.1.2.1.9 Resistant to disbonding;

5.1.2.1.10 Tahan terhadap degradasi kimiawi,

5.1.2.1.10 Resistant to chemical degradation,

5.1.2.1.11 Mudah untuk diperbaiki,

5.1.2.1.11 Ease of repair,

5.1.2.1.12 Karakteristik fisik yang tetap,

5.1.2.1.12 Retention of physical characteristics

5.1.2.1.13 Tidak beracun bagi lingkungan baik selama proses pembuatan maupun aplikasi,

5.1.2.1.13 Non-toxic to the environment, both the process of fabrication or application,

5.1.2.1.14 Tahan terhadap perubahan dan

5.1.2.1.14 Resistance to changes and

SNI 4184:2010

kerusakan selama penyimpanan di atas tanah dan transportasi yang jauh.

5.1.2.2 Faktor tipikal untuk dipertimbangkan dalam memilih pelapis pipa adalah sebagai berikut:

5.1.2.2.1 Tipe lingkungan;

5.1.2.2.2 Aksesibilitas dari sistem perpipaan;

5.1.2.2.3 Temperatur operasi dari sistem perpipaan;

5.1.2.2.4 Temperatur sekeliling selama aplikasi, pengapalan, penyimpanan, konstruksi, pemasangan, dan pengujian tekanan;

5.1.2.2.5 Lokasi geografis dan fisik;

5.1.2.2.6 Tipe pelapis pada pipa yang telah ada pada sistem;

5.1.2.2.7 Perlakuan dan penyimpanan;

5.1.2.2.8 Metoda pemasangan pipa penyalur;

5.1.2.2.9 Biaya; dan

5.1.2.2.10 Persyaratan persiapan permukaan pipa.

5.1.2.3 Sistem pelapis saluran pipa sebaiknya dipilih dan diaplikasikan secara tepat untuk menjamin bahwa *bonding* yang cukup diperoleh. Pelapis yang tak melekat bisa menimbulkan penyekatan listrik pada saluran pipa yang bisa mengurangi efektivitas sistem proteksi katodik.

5.1.3 Keterangan pada bagian ini terutama dirujuk dari dokumen-dokumen lain. Revisi terbaru dari referensi yang sesuai sangat penting untuk digunakan.

5.1.3.1 Tabel 1 adalah daftar tipe sistem pelapis yang menunjukkan referensi yang sesuai untuk spesifikasi material dan

deterioration during above ground storage and long distance transportation.

5.1.2.2 Typical factors to consider when selecting a pipe coating include:

5.1.2.2.1 Type of environment;

5.1.2.2.2 Accessibility of piping systems;

5.1.2.2.3 Operating temperature of piping system;

5.1.2.2.4 Ambient temperatures during application, shipping, storage, construction, installation, and pressure testing;

5.1.2.2.5 Geographical and physical location;

5.1.2.2.6 Type of coating on existing pipe in the system;

5.1.2.2.7 Handling and storage;

5.1.2.2.8 Pipeline installation methods;

5.1.2.2.9 Costs; and

5.1.2.2.10 Pipe surface preparation requirements.

5.1.2.3 Pipeline coating systems shall be properly selected and applied to ensure that adequate bonding is obtained. Unbonded coatings can create electrical shielding, of the pipeline that could jeopardize the effectiveness of the CP system.

5.1.3 Information in this section is primarily by reference to other documents. It is important that the latest revision of the pertinent reference be used.

5.1.3.1 Table 1 is a listing of types of coating systems, showing the appropriate references for material specifications and

aplikasi dari praktek yang direkomendasikan.

5.1.3.2 Tabel 2 adalah pengelompokan referensi untuk penggunaan secara umum selama pemasangan dan inspeksi, tanpa mempertimbangkan tipe pelapis.

5.1.3.3 Tabel 3 adalah daftar karakteristik sistem pelapis yang berhubungan dengan kondisi lingkungan yang berisi referensi pengujian laboratorium yang direkomendasikan untuk berbagai properti.

5.1.3.4 Tabel 4 adalah daftar karakteristik pelapis yang berhubungan dengan desain dan konstruksi dengan pengujian laboratorium yang direkomendasikan untuk evaluasi properti dimaksud.

5.1.3.5 Tabel 5 berisi referensi yang berguna untuk mengevaluasi sistem pelapis di lapangan setelah saluran pipa dipasang.

recommended practices for application.

5.1.3.2 Table 2 is a grouping of references for installation and inspection, general use during regardless of coating type.

5.1.3.3 Table 3 is a list of coating system characteristics related to environmental conditions containing suggested laboratory test references for various properties.

5.1.3.4 Table 4 is a list of coating system characteristics related to design and construction, with recommended laboratory test for evaluating these properties.

5.1.3.5 Table 5 lists the references that are useful in field evaluation of coating systems after the pipeline has been installed.



TABLE 1
(TABEL 1)

**Generic External Coating Systems with Material Requirements
and Recommended Practices for Application^(A)**
**(Pembagian sistem pelapisan eksternal dengan persyaratan material
Dan petunjuk pelaksanaan untuk aplikasinya)**

Generic External Coating System (Pembagian sistem pelapisan eksternal)	Reference (Referensi)
Coal Tar ANSI ^(B) /AWWA ^(C) C 203 ¹⁰	ANSI/AWWA C 214 ¹²
Wax	NACE Standard RP0375 ¹¹
Prefabricated Films	ANSI/AWWA C 209 ¹³
Fusion-Bonded Epoxy Coatings	<i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API ^(D) RP 5L7 ¹⁶ CSA ^(E) Z245.20M ¹⁷ NACE Standard RP0394 ¹⁸
Polyolefin Coatings	NACE Standard RP0185 ¹⁹ DIN ^(F) 30 670 ²⁰ ANSI/AWWA C 215 ²¹

(A) NOTE: Many other references are available, and this table is not comprehensive. Listing does not constitute endorsement of any external coating system in preference to another. Omission of a system may be due to unavailability of reference standards or lack of data.

(B) American National Standards Institute (ANSI), 1819 L St. NW, Washington, DC 20036.

(C) American Water Works Association (AWWA), 6666 West Quincy Ave., Denver, CO 80235.

(D) American Petroleum Institute (API), 1220 L St. NW, Washington, DC 20005-4070.

(E) CSA International, 178 Rexdale Blvd., Toronto, Ontario, Canada M9W 1R3.

(F) Deutsches Institut für Normung (DIN), Burggrafenstrasse 6, D-10787 Berlin, Germany.

TABLE 2
(TABEL 2)

**References for General Use in the Installation and Inspection of External Coating Systems
for Underground Piping**
**(Referensi umum digunakan dalam instalasi dan inspeksi sistem pelapisan eksternal untuk
perpipaan bawah tanah)**

Subject (Subjek)	Reference (Referensi)
Application of Organic Pipeline Coatings (Aplikasi pelapisan organik pipa alir)	ANSI/AWWA C 203 ¹⁰ NACE Standard RP0375 ¹¹ <i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API RP 5L7 ¹⁶ CSA Z245.20M ¹⁷
Film Thickness of Pipeline Coatings Inspection of Pipeline Coatings (Ketebalan lapisan inspeksi pelapisan Pipa alir)	ASTM ^(A) G 128 ²² NACE Standard RP0274 ²³

(A) ASTM, 100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428-2959.

TABLE 3
(TABEL 3)

External Coating System Characteristics Relative to Environmental Conditions^(A)
(Karakteristik system pelapisan eksternal relative terhadap kondisi lingkungan)

Environmental Factor (Faktor lingkungan)	Recommended Test Methods^(B) (Metoda uji direkomendasikan)
General underground exposure with or without CP (Pemaparan umum bawah tanah dengan atau tanpa proteksi katodik)	<i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API RP 5L7 ¹⁶ CSA Z245.20M ¹⁷ ASTM G 8 ²⁴ ASTM G 19 ²⁵ ASTM G 42 ²⁶ ASTM G 95 ²⁷
Resistance to water penetration and its effect on choice of coating thickness (Ketahanan terhadap penetrasi air dan pengaruhnya pada pemilihan tebal pelapisan)	ASTM G 9 ²
Resistance to penetration by stones in backfill (Ketahanan terhadap penetrasi oleh batuan Dalam <i>backfill</i>)	ASTM G 17 ²⁹ ASTM D 2240 ³⁰ ASTM G 13 ³¹ ASTM G 14 ³²
Soil stress (tekanan tanah)	<i>Underground Corrosion</i> ³³ ASTM D 427 ³⁴
Resistance to specific liquid not normally encountered in virgin soil (Ketahanan terhadap cairan khusus yang tidak Biasanya ditemukan dalam tanah asli)	ASTM D 543 ³⁵ Federal Test Standard ^(C) No. 406A, Method 7011 ³⁶ ASTM G 20 ³⁷
Resistance to thermal effects (ketahanan terhadap pengaruh termal)	ASTM D 2304 ³⁸ ASTM D 2454 ³⁹ ASTM D 2485 ⁴⁰
Suitability of supplementary materials for joint coating and field repairs (keberlangsungan suplai material untuk pelapisan Sambungan dan perbaikan lapangan)	ASTM G 8 ²⁴ ASTM G 19 ²⁵ ASTM G 42 ²⁶ ASTM G 95 ²⁷ ASTM G 9 ²⁸ ASTM G 18 ⁴¹ ASTM G 55 ⁴²
Resistance to microorganisms (Ketahanan terhadap mikroorganisme)	ASTM G 21 ⁴³ Federal Test Standard No. 406A, Method 6091 ⁴⁴

(A) NOTE: Apply only those factors pertinent to the installation.

(B) No specific criteria are available. Comparative tests are recommended for use and evaluation as supplementary information only.

(C) Available from General Services Administration, Business Service Center, Washington, DC 20025.

TABLE 4
(TABEL 4)

External Coating System Characteristics Related to Design and Construction
(Karakteristik system pelapisan eksternal dihubungkan terhadap desain dan konstruksi)

Design and Construction Factor (Faktor desain dan konstruksi)	Recommended Test Methods^(A) (Metoda uji direkomendasikan)
Yard Storage, Weathering (area penumpukan, cuaca)	ASTM G 11 ⁴⁵
Yard Storage, Penetration Under Load (Area penumpukan, penetrasi dibawah beban)	ASTM G 17 ²⁹ ASTM D 2240 ³⁰
Handling Resistance, Abrasion (Ketahanan pengangkatan, abrasi)	ASTM G 6 ⁴⁶
Handling Resistance, Impact (Ketahanan pengangkatan, impak)	ASTM G 13 ³¹ ASTM G 14 ³²
Field Bending Ability (Kemampuan lengkung lapangan)	ASTM G 10 ⁴⁷
Driving Ability (Resistance to Sliding Abrasion) (kemampuan <i>driving</i> (ketahanan gesekan))	ASTM G 6 ⁴⁶ ASTM D 2197 ⁴⁸
Special Requirements for Mill-Applied Coating (Persyaratan khusus untuk pelapisan diaplikasikan di pabrik)	ANSI/AWWA C 203 ¹⁰ NACE Standard RP0375 ¹¹ ANSI/AWWA C 214 ¹² ANSI/AWWA C 209 ¹³ <i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API RP 5L7 ¹⁶ CSA Z245.20M ¹⁷ NACE Standard RP0185 ¹⁹ DIN 30 670 ²⁰ ANSI/AWWA C 215 ²¹
Special Requirements for Application of Coating Over the Ditch (persyaratan khusus untuk aplikasi coating melewati <i>ditch</i>)	ANSI/AWWA C 203 ¹⁰ NACE Standard RP0375 ¹¹ ANSI/AWWA C 214 ¹² ANSI/AWWA C 209 ¹³ <i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API RP 5L7 ¹⁶ CSA Z245.20M ¹⁷
Backfill Resistance (ketahanan <i>backfill</i>)	ASTM G 13 ³¹ ASTM G 14 ³²
Resistance to Thermal Effects (ketahanan terhadap pengaruh termal)	ASTM G 8 ²⁴ ASTM G 19 ²⁵ ASTM G 42 ²⁶ ASTM G 95 ²⁷ ASTM D 2304 ³⁸ ASTM D 2454 ³⁹ ASTM D 2485 ⁴⁰
Suitability of Joint Coatings and Field Repairs (Kesesuaian pelapisan lapangan dan perbaikan lapangan)	<i>Peabody's Control of Pipeline Corrosion</i> ¹⁴ ANSI/AWWA C 213 ¹⁵ API RP 5L7 ¹⁶ CSA Z245.20M ¹⁷ ASTM G 8 ²⁴ ASTM G 19 ²⁵ ASTM G 42 ²⁶ ASTM G 95 ²⁷ ASTM G 928 ASTM G 18 ⁴¹ ASTM G 55 ⁴²

^(A) No specific criteria are available. Comparative tests are recommended for use and evaluation as supplementary information only

**TABLE 5
(TABEL 5)**

**Methods for Evaluating In-Service Field Performance of External Coatings
(Metoda untuk mengevaluasi performansi lapangan *in-service* pelapisan eksternal)**

Title or Subject of Method (Judul atau metoda subjek)	Reference (Referensi)	Basis for Rating (Dasar peringkat)
(1) Rate of Change in Current Required for CP (1) Laju perubahan arus yang Dibutuhkan untuk proteksi katodik)	<i>Underground Corrosion</i> ³³	Comparison of initial current requirement with subsequent periodic determination of current Requirement (perbandingan persyaratan arus awal dengan penentuan persyaratan penentuan arus selanjutnya)
(2) Inspection of Pipeline Coating (inspeksi pelapisan pipa alir)	NACE Standard RP0274 ²³	(a) With CP: no active corrosion found (b) Without CP: no new holidays showing active corrosion (a) Dengan PK: tidak ditemukan korosi aktif (b) Tanpa PK: tidak terlihat lubang baru korosi Aktif
(3) Cathodic Disbondment	ASTM G 8 ²⁴ ASTM G 19 ²⁵ ASTM G 42 ²⁶ ASTM G 95 ²⁷	Purpose is to obtain data relative to specific conditions for comparison with laboratory data (tujuan untuk memperoleh data relative terhadap kondisi khusus untuk perbandingan dengan data laboratorium)

5.2 Penyimpanan, perlakuan, inspeksi, dan pemasangan

5.2 Storage, handling, inspection, and installation

5.2.1 Penyimpanan dan penanganan

5.2.1 Storage and handling

5.2.1.1 Pipa berlapis yang akan disimpan sebaiknya terlindung dari korosi atmosferik dan kerusakan secara internal maupun eksternal.

5.2.1.1 Coated pipe to be stored should be protected internally and externally from atmospheric corrosion and coating deterioration.

5.2.1.2 Kerusakan terhadap pelapis dapat diminimalkan dengan perlakuan yang hati-hati baik dan dengan meng-unakan pad dan sling yang benar.

5.2.1.2 Damage to coating can be minimized by careful handling and by using proper pads and slings.

5.2.2 Inspeksi

5.2.2 Inspection

5.2.2.1 Personil yang berkualifikasi sebaiknya tetap mengawasi setiap tahapan operasi pelapisan dan pemasangan pipa.

5.2.2.1 Qualified personnel should keep every phase of the coating operation and piping installation under surveillance.

5.2.2.2 Persiapan permukaan, aplikasi primer, ketebalan pelapis, temperatur, *bonding*, dan keperluan lain yang spesifik sebaiknya diperiksa secara periodik dengan menggunakan prosedur pengujian yang sesuai agar memenuhi spesifikasi.

5.2.2.2 Surface preparation, primer application, coating thickness, temperatures, bonding, and other specific requirements should be checked periodically, using suitable test procedures for conformance with specifications.

5.2.2.3 Penggunaan detektor *holiday* direkomendasikan untuk mendeteksi keretakan pelapis yang tidak akan tampak secara visual. Detektor *holiday* sebaiknya dioperasikan sesuai dengan panduan yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat, dan pada suatu tingkat voltase yang sesuai untuk karakteristik elektrik dari sistem pelapis.

5.2.3 Pemasangan

5.2.3.1 Sambungan, fitting, dan *tie-ins* harus dilapisi dengan material yang kompatibel dengan pelapis yang telah ada.

5.2.3.2 Cacat pelapis sebaiknya diperbaiki.

5.2.3.3 Material yang digunakan untuk memperbaiki pelapis harus kompatibel dengan pelapis pipa yang telah ada.

5.2.3.4 Bagian dasar parit sebaiknya diratakan dan bebas dari batuan atau benda asing lain yang dapat merusak pelapis atau menyebabkan penyekatan elektrik. Pada kondisi yang sulit, sebaiknya dipertimbangkan untuk memberi bantalan pada pipa atau pada bagian dari dasar parit.

5.2.3.5 Pipa sebaiknya diturunkan secara hati-hati ke dalam parit untuk menghindari kerusakan pelapis.

5.2.3.6 Sebaiknya diperhatikan pada saat penimbunan kembali agar batuan dan *debris* tidak akan menghantam dan merusak pelapis pipa,

5.2.3.7 Sebaiknya diperhatikan jika menggunakan material seperti *loose wrappers*, *urethane foam* yang tidak konduktif, dan batuan yang menutup sekitar pipa penyalur sebagai proteksi terhadap kerusakan fisik atau untuk maksud-maksud lain karena material tersebut dapat membuat suatu penyekat elektrik yang akan merugikan efektivitas proteksi katodik yang ada.

5.2.3.8 Jika pipa penyalur keluar di atas tanah, pipa tersebut harus dibersihkan dan dilapisi atau dilindungi dengan suatu

5.2.2.3 The use of holiday detectors is recommended to detect coating flaws that would not be observed visually. The holiday detector should be operated in accordance with manufacturer's instructions and at a voltage level appropriate to the electrical characteristics of the coating system.

5.2.3 Installation

5.2.3.1 Joints, fittings, and tie-ins must be coated with a material compatible with the existing coating.

5.2.3.2 Coating defects should be repaired.

5.2.3.3 Materials used to repair coatings must be compatible with existing pipe coating.

5.2.3.4 The ditch bottom should be graded and free of rock or other foreign matter that can damage the coating or cause electrical shielding. Under difficult conditions, consideration should be given to padding, the pipe or the ditch bottom.

5.2.3.5 Pipe should be lowered carefully into the ditch to avoid coating damage.

5.2.3.6 Care should be taken when backfilling so that rocks and debris will not strike and damage the pipe coating.

5.2.3.7 Care shall be exercised when using materials such as loose wrappers, non-conducting urethane foam, and rock shield around pipelines as protection against physical damage or for other purposes, because these materials may create an electrical shielding effect that would be detrimental to the effectiveness of cathodic protection.

5.2.3.8 Where a pipeline comes above ground, it must be cleaned and coated, or jacketed with a material suitable for the

material yang sesuai untuk mencegah terjadinya korosi atmosferik.

5.3 Metoda untuk evaluasi sistem pelapis

5.3.1 Sistem yang ditetapkan melalui penggunaan yang berhasil.

5.3.1.1 Inspeksi pelapis secara visual dan elektrik pada pipa penyalur yang sedang dalam keadaan operasi sebaiknya digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem pelapis. Inspeksi ini dapat dilaksanakan pada saat melakukan penggalian pipa atau pada *bell holes* yang dibuat untuk maksud inspeksi.

5.3.2 Sistem yang ditetapkan atau yang dimodifikasi untuk lingkungan baru.

5.3.2.1 Metoda ini digunakan bila sistem pelapis akan terus dipakai dan sesuai dengan paragraf 5.3.1, tetapi bila aplikasinya akan diperluas untuk lingkungan yang baru atau apabila metoda ini diperlukan untuk memperbaiki sistem untuk keperluan pengembangan baru.

5.3.2.1.1 Direkomendasikan untuk menggunakan persyaratan material yang dapat diaplikasikan, spesifikasi material, standar dan praktek yang direkomendasikan untuk aplikasi seperti yang diuraikan pada Tabel 2.

5.3.2.1.2 Direkomendasi untuk menggunakan referensi yang dapat diaplikasikan seperti yang diberikan pada Tabel 3, kecuali jika telah dicakup sebelumnya pada referensi yang dapat diaplikasikan pada Tabel 2.

5.3.3 Kualifikasi sistem pelapis baru

5.3.3.1 Tujuan dari metoda ini adalah untuk kualifikasi material pelapis yang baru dengan melakukan pengujian laboratorium yang sesuai untuk pemakaian yang dimaksudkan. Setelah pengujian laboratorium dilaksanakan dan menunjukkan bahwa sistem pelapis tampak sesuai, aplikasi dan pemasangannya dilakukan sesuai dengan praktek yang direkomen-

prevention of atmospheric corrosion.

5.3 Methods for evaluating coating systems

5.3.1 Established systems proven by successful use.

5.3.1.1 Visual and electrical inspection of in-service pipeline coatings should be used to evaluate the performance for a coating system. These inspections can be conducted wherever the pipeline is excavated or at bell holes made for inspection purposes.

5.3.2 Established or modified systems for new environments.

5.3.2.1 This method is intended for use where coating systems will continue to be used and are qualified under Paragraph 5.3.1, but where application will be extended to new environments or where it is desired to revise a system to make use of new developments.

5.3.2.1.1 The use of applicable material requirements, material specifications, standards, and recommended practices for application, as given in Table 2, is recommended.

5.3.2.1.2 The use of applicable references in Table 3 is recommended unless previously covered in applicable references in Table 2.

5.3.3 New coating system qualification

5.3.3.1 The purpose of this method is to qualify a new coating material by subjecting it to laboratory tests appropriate for the intended service. After laboratory tests have been conducted and indicate that the coating system appears to be suitable, application and installation are conducted in accordance with recommended practices. In-service field performance tests are made

dasikan. Pengujian unjuk kerja lapangan pada waktu beroperasi dilakukan untuk meyakinkan keberhasilan pada langkah sebelumnya. Langkah pada metoda tersebut adalah: (1) pengujian laboratorium, (2) aplikasi yang sesuai dengan praktek yang direkomendasikan, (3) pengujian yang sesuai dengan praktek yang direkomendasikan, (4) pengujian unjuk kerja lapangan pada waktu beroperasi. Jika hasil yang baik dicapai setelah 5 tahun, selanjutnya hanya langkah (2) dan (3) yang diperlukan.

5.3.3.1.1 Bagian yang dapat diaplikasikan pada Tabel 4 dan 5 direkomendasikan untuk metoda tes laboratorium awal.

5.3.3.1.2 Bagian yang dapat diaplikasikan pada Tabel 2 dan 3 direkomendasikan untuk kondisi penggunaan selama langkah 2 dan 3.

5.3.3.1.3 Selama periode lima tahun atau lebih, direkomendasikan untuk menggunakan metoda evaluasi yang diberikan dalam Tabel 6, pasal 1 atau 2. Metoda pengujian dalam pasal 3 bisa digunakan sebagai suatu metoda pelengkap dalam mendapatkan data untuk korelasi dengan pengujian laboratorium.

5.3.4 Metoda untuk evaluasi suatu sistem pelapis dengan melihat unjuk kerja pada lapangan yang sedang beroperasi.

5.3.4.1 Tujuan metoda ini adalah untuk mengkualifikasikan sistem pelapis yang tidak tercakup oleh tiga metoda yang ada pada paragraf 5.3 yang telah atau akan digunakan. Metoda ini sebaiknya digunakan pada instalasi berskala kecil.

5.3.4.1.1 Direkomendasikan untuk menggunakan salah satu atau kedua metoda yang telah dijelaskan pada Tabel 6, minimal dilakukan 1 kali investigasi setiap lima tahun.

to confirm the access of the previous steps. The steps of the method are: (1) laboratory tests, (2) application under recommended practices, (3) installation under recommended practices, and (4) in-service field performance tests. If good results are obtained after five years, only steps (2) and (3) are required thereafter.

5.3.3.1.1 Applicable sections of Table 4 and 5 are recommended for the initial laboratory test methods.

5.3.3.1.2 Applicable sections of Tables 2 and 3 are recommended for conditional use during steps 2 and 3.

5.3.3.1.3 During a period of five years or more, the use of the evaluation methods given, in Table 6, item 1 or 2 is recommended. The test method in item 3 may be used as a supplementary means for obtaining data for correlation with laboratory tests.

5.3.4 Method for evaluating a coating system by in-service field performance only.

5.3.4.1 The purpose of this methods is to qualify a coating system where none of the first three methods given in Paragraph 5.3 have been or will be used. It is intended that this method should be limited to minor pilot installations.

5.3.4.1.1 The use of at least one of the first three methods given in Table 6 is recommended on the basis of at least one investigation per year for five consecutive years.

6 Kriteria dan pertimbangan lain untuk proteksi katodik

6.1 Pendahuluan

6.1.1 Bagian ini menyusun kriteria dan pertimbangan lain untuk proteksi katodik, jika digunakan secara terpisah atau kombinasi yang akan menunjukkan apakah proteksi katodik yang diharapkan telah dicapai (lihat juga bagian 1 paragraf 1.2 dan 1.4).

6.1.2 Efektivitas proteksi katodik atau pengukuran kontrol korosi yang lain dapat ditegaskan dengan suatu pengamatan visual, pengukuran ketebalan dinding pipa, atau penggunaan peralatan inspeksi internal. Karena beberapa metoda kadang-kadang tidak praktis, maka jika proteksi katodik yang diharapkan telah dicapai, salah satu atau kombinasi dari kriteria pada bagian ini telah dipenuhi. Jika dilakukan penggalian untuk pekerjaan lain, pipa sebaiknya diinspeksi untuk memperoleh data tentang kondisi korosi dan/atau pelapis.

6.1.3 Kriteria dalam bagian ini telah dikembangkan melalui percobaan laboratorium dan/atau dibuktikan dengan mengevaluasi data yang didapat dari sistem proteksi katodik yang telah beroperasi dengan baik. Satu kriteria untuk mengevaluasi efektivitas proteksi katodik mungkin tidak memuaskan untuk semua kondisi. Sering kombinasi dari kriteria dibutuhkan untuk satu struktur.

6.1.4 Praktek enjinereng yang baik seharusnya digunakan dalam menentukan metoda dan frekuensi pengujian yang dibutuhkan untuk memenuhi kriteria ini.

6.1.5 Catatan kebocoran karena kerusakan korosi sangat penting untuk menilai efektivitas proteksi katodik. Akan tetapi, catatan kebocoran karena kerusakan korosi sebaiknya tidak digunakan untuk menentukan apakah tingkat proteksi katodik yang diharapkan telah dicapai kecuali jika survei elektrik tidak praktis dilakukan.

6:2 Kriteria

6 Criteria and other considerations for cathodic protection

6.1 Introduction

6.1.1 This section lists criteria and other considerations for cathodic protection that will indicate, when used either separately or in combination, whether adequate cathodic protection of a metallic piping system has been achieved (see also Section 1, Paragraphs 1.2 and 1.4)

6.1.2 The effectiveness of cathodic protection or other corrosion control measures can be affirmed by visual observation, measurements of pipe wall thickness, or by use of internal inspection devices. Because such methods sometimes are not practical, meeting any criterion or combination of criteria in this section is evidence that adequate cathodic protection has been achieved. When excavations are made for any purpose, the pipe should be inspected for evidence of corrosion and/or coating condition.

6.1.3 The criteria in this section have been developed through laboratory experiments and/or verified by evaluating data obtained from successfully operated cathodic protection system. Situations may exist where a single criterion for evaluating the effectiveness of cathodic protection may not be satisfactory for all conditions. Often a combination of criteria is needed for a single structure.

6.1.4 Sound engineering practices shall be used to determine the methods and frequency of testing required to satisfy these criteria.

6.1.5 Corrosion leak history is valuable in assessing the effectiveness of cathodic protection. Corrosion leak history by itself, however, shall not be used to determine whether adequate levels of cathodic protection have been achieved unless it is impractical to make electrical surveys.

6.2 Criteria

6.2.1 Petugas yang bertanggung jawab untuk kontrol korosi tidak dibatasi oleh kriteria yang disebutkan di bawah ini saja. Kriteria telah dilaksanakan dengan baik dan berhasil pada sistem perpipaan yang ada dapat digunakan terus pada pipa tersebut. Setiap kriteria lain yang digunakan harus mencapai kontrol korosi yang dapat dibandingkan dengan yang dinyatakan pada kriteria di bawah ini.

6.2.2 Pipa baja dan besi tuang

6.2.2.1 Kontrol korosi dapat dicapai pada berbagai tingkat dari polarisasi katodik tergantung pada kondisi lingkungan. Akan tetapi, jika tidak ada data spesifik yang menunjukkan bahwa proteksi katodik yang diharapkan telah tercapai, satu atau beberapa hal di bawah ini sebaiknya dilaksanakan:

6.2.2.1.1 Minimal potensial negatif 850 mV dengan penyearah arus dimatikan sementara. Potensial ini diukur berdasarkan pada elektroda acuan *copper/copper* sulfat jenuh yang kontak dengan elektrolit.

Penurunan-Voltase diluar yang melampui batasan struktur dan elektrolit harus dipertimbangkan untuk penafsiran yang sah pada pengukuran voltase ini.

CATATAN: Pertimbangan dipahami untuk aplikasi praktek rancang-bangun yang baik dalam menentukan penurunan-voltase yang signifikan dengan metoda seperti:

6.2.2.1.1.1 Ukur atau kalkulasi penurunan voltase;

6.2.2.1.1.2 Tinjau ulang unjuk kerja historis pada sistim CP;

6.2.2.1.1.3 Evaluasi karakteristik fisik dan elektrik pada pipa dan lingkungannya; dan

6.2.2.1.1.4 Tentukan apakah ada atau tiadanya bukti korosi secara fisik.

6.2.2.1.2 Minimal potensial polarisasi negatif 850 mV (lihat definisi pada Bagian 2) relatif terhadap elektroda acuan *coper/coper*

6.2.1 It is not intended that persons responsible for corrosion control be limited to the criteria listed below. Criteria that have been successfully applied on existing piping systems can continue to be used on those piping systems. Any other criteria used must achieve corrosion control comparable to that attained with the criteria herein.

6.2.2 Steel and cast iron piping

6.2.2.1 Corrosion control can be achieved at various levels of cathodic polarization depending on the environmental conditions. However, in the absence of specific data that demonstrate that adequate cathodic protection has been achieved, one or more of the following shall apply:

6.2.2.1.1 A negative (cathodic) potential of at least 850 mV with the cathodic protection applied. This potential is measured with respect to a saturated copper/copper sulphate reference electrode contacting the electrolyte.

Voltage drops other than those across the structure-to-electrolyte boundary must be considered for valid interpretation of this voltage measurement.

NOTE: Consideration is understood to mean the application of sound engineering practice in determining the significance of voltage drops by methods such as:

6.2.2.1.1.1 Measuring or calculating the voltage drop(s);

6.2.2.1.1.2 Reviewing the historical performance of the CP system;

6.2.2.1.1.3 Evaluating the physical and electrical characteristics of the pipe and its environment; and

6.2.2.1.1.4 Determining whether or not there is physical evidence of corrosion.

6.2.2.1.2 A negative polarized potential (see definition in Section 2) of at least 850 mV relative to a saturated copper/copper

sulfat jenuh.

6.2.2.1.3 Minimal polarisasi katodik 100 mV antara permukaan struktur dan elektroda referensi yang stabil yang kontak dengan elektrolit. Timbulnya formasi atau kerusakan polarisasi dapat diukur untuk memenuhi kriteria ini.

6.2.2.2 Kondisi khusus

6.2.2.2.1 Pada pipa penyalur tak berlapis atau berlapis tidak efektif, pengukuran arus proteksi neto dengan teknik arus tanah pada titik keluaran arus yang telah ditentukan dari elektroda ke permukaan pipa mungkin telah mencukupi.

6.2.2.2.2 Pada beberapa situasi seperti adanya sulfida, bakteri, kenaikan temperatur, lingkungan yang asam, dan perpaduan logam yang tak sama strukturnya, kriteria dalam Paragraf 6.2.2.1 mungkin tidak mencukupi.

6.2.2.2.3 Jika pipa penyalur dibungkus dalam beton atau ditimbun dalam tanah dengan tahanan tanah yang tinggi, harga negatif yang lebih kecil dari kriteria yang tercantum dalam paragraf 6.2.2.1 mungkin telah mencukupi.

6.2.2.3 Catatan untuk perhatian

6.2.2.3.1 Teknik arus tanah sering tidak berguna pada daerah di mana terdapat pipa penyalur yang banyak, pada permukaan tanah yang mempunyai tahanan tinggi, pipa yang ditanam cukup dalam, pada daerah arus sesat, atau di mana aksi sel korosi lokal sangat dominan.

6.2.2.3.2 Disarankan untuk tidak menggunakan potensial polarisasi lebih kecil dari -850 mV untuk proteksi katodik pada pipa penyalur jika tekanan kerja dan kondisi sekitar membantu terjadinya *stress corrosion cracking* (lihat referensi pada *stress corrosion cracking* di akhir bagian ini).

6.2.2.3.3 Penggunaan potensial polarisasi yang berlebihan pada pipa penyalur yang berlapis sebaiknya dihindarkan untuk memperkecil *cathodic disbondment* pada

sulphate reference electrode.

6.2.2.1.3 A minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of polarization can be measured to satisfy this criterion.

6.2.2.2 Special conditions

6.2.2.2.1 On bare or ineffectively coated pipelines where long line corrosion activity is of primary concern, the measurement of a net protective current at predetermined current discharge points from the electrolyte to the pipe surface, as measured by an earth current technique, may be sufficient.

6.2.2.2.2 In some situations, such as the presence of sulphides, bacteria, elevated temperatures, acid environments, and dissimilar metals, the criteria in Paragraph 6.2.2.1 may not be sufficient.

6.2.2.2.3 When a pipeline is encased in concrete or buried in dry or aerated high resistivity soil, values less negative than the criteria listed in Paragraph 6.2.2.1 may be sufficient.

6.2.2.3 Precautionary notes

6.2.2.3.1 The earth current technique is often meaningless in multiple pipe rights-of-way, in high resistivity surface soil, for deeply buried pipe, in stray current areas, or where local corrosion cell activity predominates.

6.2.2.3.2 Caution is advised against using polarized potentials less negative than -850 mV for cathodic protection of pipelines when operating pressures and conditions are conducive to stress corrosion cracking (see references on stress corrosion cracking at the end of this section).

6.2.2.3.3 The use of excessive polarized potentials on coated pipelines should be avoided to minimize cathodic disbondment of the coating.

pelapis.

6.2.2.3.4 Polarisasi yang menghasilkan perkembangan hidrogen yang tak terkendali sebaiknya dihindarkan pada seluruh logam, terutama baja kekuatan tinggi, jenis tertentu logam baja tahan karat, titanium, paduan aluminium dan pipa beton pratekan.

6.2.3 Perpipaan Alumunium

6.2.3.1 Kriteria berikut ini harus diterapkan : minimum 100 mV dari polarisasi katodik antara permukaan struktur dan elektroda acuan. Formasi atau besarnya polarisasi dapat digunakan kriteria ini.

6.2.3.2 Catatan untuk perhatian

6.2.3.2.1 Voltase Berlebihan:

Walaupun ada ukuran yang minimum pada Paragraf 6.2.3.1, jika aluminium diproteksi secara katodik pada voltase lebih negatif 1,200 mV, diukur antara permukaan pipa dan copper/copper sulfate acuan, dan kompensasi dibuat untuk batasan penurunan voltase selain dari pipa ke elektrolit, ini menyebabkan korosi sebagai hasil terbentuknya alkali dipermukaan logam.

Tegangan polarisasi lebih negative dari -1.200 mV sebaiknya tidak digunakan kecuali pada pengujian awal tidak menunjukkan indikasi adanya korosi pada lingkungan tertentu

6.2.3.2.2 Kondisi Alkali: Aluminium akan terkorosi pada pH tinggi, dan aplikasi CP cenderung meningkatkan pH pada permukaan logam. Oleh karena itu, pengujian atau penyelidikan secara seksama sebaiknya dilaksanakan sebelum diterapkan CP untuk menghentikan Serangan korosi lubang pada aluminium di lingkungan yang mempunyai pH alami lebih dari 8.0.

6.2.4 Perpipaan Tembaga

6.2.4.1 Kriteria berikut harus diterapkan: minimum 100 mV polarisasi katodik antara permukaan struktur dan elektroda acuan.

6.2.2.3.4 Polarized potentials that result in excessive generation of hydrogen should be avoided on all metals, particularly higher strength steel, certain grades of stainless steel, titanium, aluminum alloys, and prestressed concrete pipe.

6.2.3 Aluminum Piping

6.2.3.1 The following criterion shall apply: a minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of this polarization can be used in this criterion.

6.2.3.2 Precautionary notes

6.2.3.2.1 Excessive Voltages:

Notwithstanding the minimum criterion in Paragraph 6.2.3.1, if aluminum is cathodically protected at voltages more negative than -1,200 mV measured between the pipe surface and a saturated copper/copper sulfate reference electrode contacting the electrolyte and compensation is made for the voltage drops other than those across the pipe/electrolyte boundary, it may suffer corrosion as the result of the buildup of alkali on the metal surface. A polarized potential more negative than -1,200 mV should not be used unless previous test results indicate that no appreciable corrosion will occur in the particular environment.

6.2.3.2.2 Alkaline Conditions: Aluminum may suffer from corrosion under high-pH conditions, and application of CP tends to increase the pH at the metal surface. Therefore, careful investigation or testing should be done before applying CP to stop pitting attack on aluminum in environments with a natural pH in excess of 8.0.

6.2.4 Copper Piping

6.2.4.1 The following criterion shall apply: a minimum of 100 mV of cathodic polarization between the structure surface and a stable

Formasi atau besarnya polarisasi dapat digunakan pada kriteria ini

6.2.5 Perpipaan Logam yang Berlainan

6.2.5.1 Voltase negatif antara semua permukaan pipa dan elektroda acuan harus dijaga seimbang.

6.2.5.2 Catatan untuk perhatian

6.2.5.2.1 Material amphoteric yang dapat rusak oleh alkalin tinggi yang diakibatkan oleh CP sebaiknya diisolasi secara elektrik dan dilindungi secara terpisah

6.3 Pertimbangan lain

6.3.1 Metoda untuk menentukan penurunan voltase harus dipilih dan diterapkan dengan menggunakan praktek perekayasaan yang sesuai. Sekali ditetapkan, penurunan voltase dapat digunakan untuk mengoreksi pengukuran pada lokasi yang sama pada masa mendatang, kondisi yang disajikan seperti kondisi pipa dan kondisi operasi sistem CP, karakteristik tanah, dan kualitas lapisan luar dianggap sama (Catatan: penempatan elektroda acuan dekat dengan permukaan pipa tidak boleh ada pada interface pipa-elektrolit. Elektroda acuan yang ditempatkan pada permukaan pipa terlapis luar tidak boleh sangat mengurangi penurunan voltase-tanah dalam pengukuran jika holiday lapisan terdekat jauh dari lokasi elektroda acuan)

6.3.2 Apabila tidak praktis atau dianggap tidak perlu memutuskan semua sumber arus listrik untuk mengoreksi penurunan voltase dalam pengukuran potensial struktur-ke-elektrolit, praktek perekayasaan yang sesuai sebaiknya digunakan untuk memastikan bahwa CP yang memadai telah dicapai.

6.3.3 Jika layak dan dapat dilaksanakan pemeriksaan pipa penyalur secara *in-line* dapat membantu dalam menentukan adanya kerusakan korosi *pitting*. Tidak adanya kerusakan akibat korosi berlanjut

reference electrode contacting the electrolyte. The formation or decay of this polarization can be used in this criterion.

6.2.5 Dissimilar Metal Piping

6.2.5.1 A negative voltage between all pipe surfaces and a stable reference electrode contacting the electrolyte equal to that required for the protection of the most anodic metal should be maintained.

6.2.5.2 Precautionary Note

6.2.5.2.1 Amphoteric materials that could be damaged by high alkalinity created by CP should be electrically isolated and separately protected.

6.3 Other considerations

6.3.1 Methods for determining voltage drop(s) shall be selected and applied using sound engineering practices. Once determined, the voltage drop(s) may be used for correcting future measurements at the same location, provided conditions such as pipe and CP system operating conditions, soil characteristics, and external coating quality remain similar. (Note: Placing the reference electrode next to the pipe surface may not be at the pipe-electrolyte interface. A reference electrode placed at an externally coated pipe surface may not significantly reduce soil voltage drop in the measurement if the nearest coating holiday is remote from the reference electrode location.)

6.3.2 When it is impractical or considered unnecessary to disconnect all current sources to correct for voltage drop(s) in the structure-to-electrolyte potential measurements, sound engineering practices should be used to ensure that adequate CP has been achieved.

6.3.3 Where feasible and practicable, in-line inspection of pipelines may be helpful in determining the presence or absence of pitting corrosion damage. Absence of corrosion damage or the halting of its

dapat menunjukkan kontrol korosi yang memadai. Akan tetapi inspeksi *in-line* tidak bisa mendeteksi seluruh jenis kerusakan korosi, teknik ini mempunyai keterbatasan dalam akurasi dan mungkin menampilkan bentuk anomali yang bukan korosi. Sebagai contoh korosi pada sambungan longitudinal dan korosi merata mungkin belum terdeteksi oleh pemeriksaan *in-line* ini. Demikian juga variasi ketebalan, penyok dan adanya eksternal *ferrous* di permukaan luar pipa mungkin terdeteksi sebagai korosi. Kegunaan yang sesuai dari inspeksi *in-line* sebaiknya dipertimbangkan.

6.3.2 Arus sesat dan gradien elektrik sesat dapat terjadi dan membutuhkan analisa khusus. Untuk tambahan informasi, lihat Bagian 9, "Kontrol Arus Interferensi".

6.4 Elektroda referensi alternatif

6.4.1 Elektroda referensi standar lain bisa dipakai sebagai pengganti elektroda referensi *copper/copper sulphate* jenuh. Dua elektroda yang umum digunakan tercantum dalam daftar di bawah yang menunjukkan voltase ekuivalennya terhadap -850 mV elektroda referensi *copper/copper sulphate* jenuh (pada 25°C (77°F)):

6.4.1.1 Elektroda referensi calomel (KCl) jenuh (-780 mV); dan

6.4.1.2 Elektroda referensi *silver/silver chloride* jenuh yang digunakan dalam 25 ohm-cm air laut negatif 800 mV.

6.4.2 Di samping standar tersebut, elektroda referensi, material atau struktur logam alternatif bisa digunakan sebagai ganti dari *saturated copper/copper sulphate reference electrode* jika stabilitas potensial elektroda terjamin dan jika voltasenya sama apabila dibandingkan dengan elektroda referensi *copper/copper sulphate* yang ada.

growth may indicate adequate corrosion control. The *in-line* inspection technique, however, may not be capable of detecting all types of corrosion damage, has limitations in its accuracy, and may report as anomalies items that are not corrosion. For example, longitudinal seam corrosion and general corrosion may not be readily detected by *in-line* inspection. Also, possible thickness variations, dents, gouges, and external *ferrous* objects may be detected as corrosion. The appropriate use of *in-line* inspection must be carefully considered.

6.3.2 Situations involving stray currents and stray electrical gradients may exist that require special analysis. For additional information, see Section 9, "Control of Interference Currents".

6.4 Alternative reference electrodes

6.4.1 Other standard reference electrodes may be substituted for the saturated copper/copper sulphate reference electrode. Two commonly use reference electrodes are listed below along with their voltage equivalent (at 25°C (77°F)) to -850mV referred to a saturated copper/copper sulphate reference electrode:

6.4.1.1 Saturated KCl calomel reference electrode : -780 mV, and

6.4.1.2 Saturated silver/silver chloride reference electrode used in 25 ohm-cm seawater -800 mV.

6.4.2 In addition to these standard, reference electrodes, an alternative metallic material or structure may be used in place of the saturated copper/copper sulphate reference electrode if the stability of its electrode potential is ensured and if its voltage equivalent referred to a saturated copper/copper sulphate reference electrode is established.

Bibliography for Section 6

Criteria for Copper Schwerdtfeger, W.J. "Criteria for Cathodic Protection— ighly Resistant Copper Deteriorates in Severely Corrosive Soil." *Materials Protection* 57, 9 (1968): p.43.

Criteria for Aluminum BS CP 1021 (latest revision). "Code of Practice for Cathodic Protection." London, England: BSI.(3)

DIN30 676 (latest revision). "Design and Application of Cathodic Protection of External Surfaces." Berlin, Germany: DIN

NACE Publication 2M363 (withdrawn). "Recommended Practice for Cathodic Protection of Aluminum Pipe Buried in Soil or Immersed in Water." Houston, TX: NACE.

Schwerdtfeger, W.J. "Effects of Cathodic Current on the Corrosion of An Aluminum Alloy." National Bureau of Standards(4) *Journal of Research* 68c (Oct.-Dec. 1964): p. 283.

Criteria for Steel and Cast Iron Doremus, E.P., and T.L. Canfield. "The Surface Potential Survey Can Detect Pipeline Corrosion Damage." *Materials Protection* 6, 9 (1967): p. 33.

Ewing, S.P. "Potential Measurements for Determinat on of Cathodic Protection Requirements." *Corrosion* 7, 12 (1951): p. 410.

Haycock, E.W. "Current Requirements for Cathodic Protection of Oil Well Casing." *Corrosion* 13, 11 (1957): p. 767.

Kuhn, R.C. "Cathodic Protection of Underground Pipelines Against Soil Corrosion." *American Petroleum Institute Proceedings* IV, 14 (1953): p. 153.

McCollum, B., and K.H. Logan. National Bureau of Standards Technical Paper No. 351, 1927.

Romanoff, M. *Underground Corrosion*. Houston, TX: NACE, 1989.

Pearson, J.M. "Electrical Instruments and Measurement in Cathodic Protection." *Corrosion* 3, 11 (1947): p. 549.

Pearson, J.M. "Null Methods Applied to Corrosion Measurements." *Transactions of the Electrochemical Society* 81 (1942): p. 485.

Schwerdtfeger, W.J., and O.N. McDorman. "Potential and Current Requirements for the Cathodic Protection of Steel in Soils." *Corrosion* 8, 11 (1952): p. 391.

Sudrabin, L.P., and F.W. Ringer. "Some Observations on Cathodic Protection Criteria." *Corrosion* 13, 5 (1957) p. 351t. Discussion on this paper *Corrosion* 13, 12 (1957): p. 835t.

Additional References

Barlo, T.J., and W.E. Berry. "A Reassessment of the -0.85 V and 100 mV Polarization Criteria for Cathodic Protection of Steel Buried in Soils. *Ninth International Congress on Metallic Corrosion* 4, (1984): June 7. National Research Council Canada.(5)

Barlo, T.J., and W.E. Berry. "An Assessment of the Current Criteria for Cathodic Protection of Buried Steel Pipes." *MP* 23, 9 (1984).

Barlo, T.J., and R.R. Fessler. "Interpretation of True Pipe-to- Soil Potentials on Coated Pipelines with Holidays." *CORROSION/83*, paper no. 292. Houston, TX: NACE, 1983.

Barlo, T.J., and R.R. Fessler. "Investigation of Techniques to Determine the True Pipe-to-Soil Potential of a Buried Pipeline." AGA(6) Project PR-3-93, 1979 Annual Report, May, 1980.

Cathodic Protection Criteria—A Literature Survey. Houston, TX: NACE, 1989.

Comeaux, R.V. "The Role of Oxygen in Corrosion and Cathodic Protection." *Corrosion* 8, 9 (1952): pp. 305-309.

Compton, K.G. "Criteria and Their Application for Cathodic Protection of Underground Structures." *Materials Protection* 4, 8 (1965): pp. 93-96.

Dabkowski, J. "Assessing the Cathodic Protection Levels of Well Casings." AGA Project 151-106, Final Report, January 1983: pp. 3-92.

Dexter, S.C., L.N. Moettus, and K.E. Lucas. "On the Mechanism of Cathodic Protection." *Corrosion* 41, 10 (1985).

"Field Testing the Criteria for Cathodic Protection." AGA Interim Report PR-151-163, December, 1987.

Fischer, K.P. "Cathodic Protection in Saline Mud Containing Sulfate Reducing Bacteria." *MP* 20, 10 (1981): pp. 41-46.

Holler, H.D. "Studies on Galvanic Couples II-Some Potential-Current Relations in Galvanic Corrosion." *Journal of the Electrochemical Society* September (1950): pp. 277-282.

Gummow, R.A. "Cathodic Protection Criteria—A Critical Review of NACE Standard RP0169." *MP* 25, 9 (1986): pp. 9-16.

Hoey, G.R., and M. Cohen. "Cathodic Protection of Iron in the Temperature Range 25-92°C." *Corrosion* 14, 4 (1958): pp. 200t-202t.

- Howell, R.P. "Potential Measurements in Cathodic Protection Designs." *Corrosion* 8, 9 (1952).
- Jones, D. "Electrochemical Fundamentals of Cathodic Protection." CORROSION/87, paper no. 317. Houston, TX: NACE, 1987.
- Kasahara, K., T. Sato, and H. Adachi. "Results of Polarization Potential and Current Density Surveys on Existing Buried Pipelines." *MP* 19, 9 (1980): pp. 45- 51.
- Kehn, G.R., and E.J. Wilhelm. "Current Requirements for the Cathodic Protection of Steel in Dilute Aqueous Solutions." *Corrosion* 7, 5 (1951): pp. 156-160.
- Koybayaski, T. "Effect of Environmental Factors on the Protective Potential of Steel." *Proceedings of the Fifth International Congress on Metallic Corrosion*. Houston, TX: NACE, 1980.
- Krivian, L. "Application of the Theory of Cathodic Protection to Practical Corrosion Systems." *British Corrosion Journal* 19, 1 (1984).
- Kuhn, R.J. "Cathodic Protection on Texas Gas Systems." AGA Annual Conference. Held Detroit, MI, April 1950.
- Lattin, B.C. "The Errors of Your Ways (Fourteen Pitfalls for Corrosion Engineers and Technicians to Avoid)." *MP* 20, 3 (1981): p. 30.
- Logan, K.H. "Comparison of Cathodic Protection Test Methods." *Corrosion* 10, 7 (1954).
- Logan, K.H. "Underground Corrosion." National Bureau of Standards Circular C450, November 1945, pp. 249-278.
- Logan, K.H. "The Determination of the Current Required for Cathodic Protection." National Bureau of Standards Soil Corrosion Conference, March 1943.
- Martin, B.A. "Cathodic Protection: The Ohmic Component of Potential Measurements—Laboratory Determination with a Polarization Probe in Aqueous Environments." *MP* 20, 1 (1981): p. 52.
- Martin, B.A., and J.A. Huckson. "New Developments in Interference Testing." *Industrial Corrosion* 4, 6 (1986): pp. 26-31.
- Mears and Brown. "A Theory of Cathodic Protection." *Transactions of the Electrochemical Society* 74 (1938): p. 527.
- Morgan, J. *Cathodic Protection*. 2nd Ed. Houston, TX: NACE, 1987.
- NACE Technical Committee T-2C Report (withdrawn). "Criteria for Adequate Cathodic Protection of Coated, Buried, or Submerged Steel Pipe Lines and Similar Steel Structures." Houston, TX: NACE.

Pearson, J.M. "Concepts and Methods of Cathodic Protection." *The Petroleum Engineer* 15, 6 (1944): p. 218; and 15, 7 (1944): p. 199.

Pourbaix, M. *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. Houston, TX: NACE, 1974, p. 319.

Prinz, W. "Close Interval Potential Survey of Buried Pipelines, Methods and Experience." UK Corrosion '86, p. 67.

Riordan, M.A. "The Electrical Survey—What It Won't Do." *MP* 17, 11 (1978): pp. 38-41.

Riordan, M.A., and R.P. Sterk. "Well Casing as an Electrochemical Network in Cathodic Protection Design." *Materials Protection* 2, 7 (1963): pp. 58-68.

Schaschl, E., and G.A. Marsh. "Placement of Reference Electrode and Impressed Current Anode Effect on Cathodic Protection of Steel in a Long Cell." *MP* 13, 6 (1974): pp. 9-11.

Stern, M. "Fundamentals of Electrode Processes in Corrosion." *Corrosion* 13, 11 (1957): p. 97.

CEA 54277 (withdrawn). "State-of-the-Art Report, Specialized Surveys for Buried Pipelines." Houston, TX: NACE.

Thompson, N.G., and T.J. Barlo. "Fundamental Process of Cathodically Protecting Steel Pipelines." International Gas Research Conference, 1983.

Toncre, A.C. "A Review of Cathodic Protection Criteria." *Proceeding of Sixth European Congress on Metallic Corrosion*. Held London, England, September 1977, pp. 365-372.

Van Nouhuys, H.C. "Cathodic Protection and High Resistivity Soil." *Corrosion* 9, 12 (1953): pp. 448-458.

Van Nouhuys, H.C. "Cathodic Protection and High Resistivity Soil—A Sequel." *Corrosion* 14, 12 (1958): p. 55.

Von Baekmann, W., A. Ballest, and W. Prinz. "New Development in Measuring the Effectiveness of Cathodic Protection." *Corrosion Australasia*, February, 1983.

Von Baekmann, W., and W. Schwenk. *Handbook of Cathodic Protection*. Portellis Press, 1975, Chapter 2.

Webster, R.D. "Compensating for the IR Drop Component in Pipe-to-Soil Potential Measurements." *MP* 26, 10 (1987): pp. 38-41.

Wyatt, B.S., and K.C. Lax. "Close Interval Overline Polarized Potential Surveys of Buried Pipelines." UK Corrosion Conference, 1985.

Stress Corrosion Cracking Barlo, T.J., et al. "An Assessment of the Criteria for Cathodic Protection of Buried Pipelines." AGA Final Report, Project PR-3-129, 1983.

Barlo, T.J., et al. "Controlling Stress-Corrosion Cracking by Cathodic Protection." AGA Annual Report, Project-3-164, 1984.

Parkins, R.N., A.J. Markworth, J.H. Holbrook, and R.R. Fessler. "Hydrogen Gas Evolution From Cathodically Protected Surfaces." *Corrosion* 41,7 (1985): pp. 389-

Parkins, R.N., and R.R. Fessler. "Stress Corrosion Cracking of High-Pressure Gas Transmission Pipelines." *Materials in Engineering Applications* 1, 2 (1978) pp. 80-96.

Parkins, R.N., and R.R. Fessler. "Line Pipe Stress Corrosion Cracking—Mechanisms and Remedies." CORROSION/86 paper no. 320. Houston, TX: NACE, 1986.

Parkins, R.N., A.J. Markworth, and J.H. Holbrook. "Hydrogen Gas Evolution From Cathodically Protected Pipeline Steel Surfaces Exposed to Chloride-Sulfate Solutions." *Corrosion* 44, 8 (1988): pp. 572-580.

McCaffrey, W.R. "Effect of Overprotection on Pipeline Coatings." *Materials Protection and Performance* 12, 2 (1973): p. 10. PR-15-427. "An Assessment of Stress Corrosion Cracking (SCC) Research for Line Pipe Steels." AGA, 1985.

7 Desain sistem proteksi katodik

7.1 Pendahuluan

7.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah untuk merekomendasikan prosedur pendesainan sistem proteksi katodik yang akan memberikan kontrol korosi yang efektif dengan memenuhi satu atau lebih dari kriteria yang dijelaskan pada Bagian 6 dan dapat dipercaya selama masa operasi yang diharapkan.

7.1.2 Hal-hal berikut sebaiknya dipertimbangkan pada desain sistem proteksi katodik:

7.1.2.1 Rekognasi terhadap kondisi yang berbahaya yang terdapat pada daerah instalasi yang diusulkan, dan pemilihan dan spesifikasi material dan praktek pemasangan yang akan menjamin

7 Design of cathodic protection systems

7.1 Introduction

7.1.1 The purpose of this section is to recommend procedures for designing cathodic protection systems that will provide effective corrosion control by satisfying one or more of the criteria listed in Section 6 and exhibiting maximum reliability over the intended operating life of the systems.

7.1.2 In the design of a cathodic protection system, the following should be considered:

7.1.2.1 Recognition of hazardous conditions prevailing at the proposed installation site(s) and the selection and specification of materials and installation practices that will ensure safe installation and operation.

pemasangan dan operasi yang aman.

7.1.2.2 Spesifikasi material dan praktek pemasangan yang sesuai dengan aturan pada edisi terakhir yang berlaku, *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)² Standards, National Electrical Code (NEC)³*, standar nasional dan internasional yang sesuai.

7.1.2.3 Pemilihan dan spesifikasi material dan praktek pemasangan yang akan meyakinkan operasi yang andal dan ekonomis selama masa operasi yang diharapkan.

7.1.2.4 Pemilihan lokasi untuk instalasi yang diusulkan agar meminimalkan arus listrik atau gradien potensial tanah yang dapat mengakibatkan efek kerusakan pada struktur logam lain yang tertimbun atau terbenam.

7.1.2.5 Kerja sama dalam pemeriksaan untuk memecahkan masalah interferensi yang memuaskan semua pihak (lihat Bagian 9).

7.1.2.6 Sebaiknya dipertimbangkan adanya sulfida, bakteri, pelapis yang terkelupas, pelapis isolasi termal, temperatur tinggi, penyekat, lingkungan asam dan logam yang tidak sama.

7.1.2.7 Tingkat proteksi katodik yang berlebihan yang dapat menyebabkan terkelupasnya pelapis dan kemungkinan kerusakan pada baja kekuatan tinggi sebagai akibat perkembangan gas hidrogen sebaiknya dihindarkan.

7.1.2.8 Apabila ada logam amfoter sebaiknya diperhatikan agar kondisi pH yang tinggi, penyebab korosi katodik pada logam tidak timbul.

7.2 Tujuan utama dari desain sistem proteksi katodik mencakup hal-hal berikut:

7.2.1 Untuk memberi arus listrik yang cukup pada struktur yang diproteksi dan

7.1.2.2 Specification of materials and installation practices to conform to latest edition of applicable codes, National Electrical Manufacturers Association (NEMA)² Standards, National Electrical Code (NEC)³, appropriate international standards, and NACE Standards

7.1.2.3 Selection and specification of materials and installation practices that will ensure dependable and economical operation throughout the intended operating life.

7.1.2.4 Selection of locations for proposed installations to minimize currents or earth potential gradients, which can cause detrimental effects on foreign buried or submerged metallic structures.

7.1.2.5 Co-operative investigations to determine mutually satisfactory solution(s) of interference problems (see Section 9).

7.1.2.6 Special consideration should be given to the presence of sulphides, bacteria, disbonded coatings, thermal insulating coatings, elevated temperatures, shielding, acid environments, and dissimilar metals.

7.1.2.7 Excessive levels of cathodic protection that can cause coating, disbondment and possible damage to high strength steels as a result of hydrogen evolution should be avoided.

7.1.2.8 When amphoteric metals are involved, care should be taken so that high pH conditions that could cause cathodic corrosion of the metal are not established.

7.2 Major objectives of cathodic protection system design include the following:

7.2.1 To provide sufficient current to the structure to be protected and distribute this

mendistribusikan arus ini sedemikian rupa sehingga kriteria proteksi katodik yang dipilih dapat dicapai secara efisien.

7.2.2 Untuk meminimalkan arus interferensi pada struktur yang tertimbun lain di sekitarnya (lihat Bagian 9).

7.2.3 Untuk memberikan umur desain sistem anoda yang sama dengan umur yang disyaratkan dari struktur yang diproteksi atau untuk memberikan rehabilitasi periodik pada sistem anoda.

7.2.4 Untuk memberikan kelonggaran yang cukup untuk mengantisipasi perubahan arus listrik yang diperlukan pada waktu yang akan datang.

7.2.5 Untuk memasang anoda bila kemungkinan ada gangguan atau kerusakan yang minimal.

7.2.6 Untuk memberi fasilitas pemantauan yang memadai guna pengujian dan evaluasi unjuk kerja sistem.

7.3 Pengujian informasi untuk desain

7.3.1 Spesifikasi sistem perpipaan dan praktek yang berguna adalah:

7.3.1.1 Peta jalur dan lembaran atlas.

7.3.1.2 Tanggal konstruksi.

7.3.1.3 Pipa, fitting, dan perlengkapan yang lain.

7.3.1.4 Pelapis.

7.3.1.5 *Casing*.

7.3.1.6 Tempat tes kontrol korosi.

7.3.1.7 Peralatan isolasi secara elektrik.

7.3.1.8 *Electric bond*.

7.3.1.9 Antena, jembatan, dan lintasan bawah air.

current so that the selected criteria for cathodic protection are efficiently attained.

7.2.2 To minimize the interference currents on neighbouring underground structures (see Section 9).

7.2.3 To provide a design life of the anode system commensurate with the required life of the protected structure, or to provide for periodic rehabilitation of the anode system.

7.2.4 To provide adequate allowance for anticipated changes in current requirements with time.

7.2.5 To install anodes where the possibility of disturbance or damage is minimal.

7.2.6 To provide adequate monitoring facilities to test and evaluate the system performance.

7.3 Information useful for design

7.3.1 Useful piping system specifications and practices include the following:

7.3.1.1 Route maps and atlas sheets.

7.3.1.2 Construction dates.

7.3.1.3 Pipe, fittings, and other appurtenances.

7.3.1.4 Coatings.

7.3.1.5 Casing.

7.3.1.6 Corrosion control test stations.

7.3.1.7 Electrically isolating devices.

7.3.1.8 Electrical bonds.

7.3.1.9 Aerial, bridge, and underwater crossings.

7.3.2 Informasi yang berguna pada kondisi lokasi sistem perpipaan mencakup hal-hal berikut:

7.3.2.1 Sistem proteksi katodik yang telah ada dan yang diusulkan.

7.3.2.2 Kemungkinan penyebab interferensi (lihat Bagian 9).

7.3.2.3 Kondisi lingkungan yang khusus.

7.3.2.4 Struktur logam tertimbun di sekitarnya (termasuk lokasi, pemilik, dan praktek kontrol korosi).

7.3.2.5 Struktur yang mudah dicapai.

7.3.2.6 Tersedianya sumber tenaga.

7.3.2.7 Kelayakan isolasi elektrik dari struktur lain.

7.3.3 Informasi yang berguna dari survei lapangan, data tes korosi, dan pengalaman operasi mencakup hal-hal berikut:

7.3.3.1 Persyaratan arus listrik proteksi untuk memenuhi kriteria yang berlaku.

7.3.3.2 Tahanan listrik dari elektrolit.

7.3.3.3 Kontinuitas elektrik.

7.3.3.4 Isolasi elektrik.

7.3.3.5 Integritas pelapis.

7.3.3.6 Catatan kebocoran kumulatif.

7.3.3.7 Arus interferensi.

7.3.3.8 Penyimpangan spesifikasi konstruksi.

7.3.3.9 Data perawatan dan operasi yang lain.

7.3.4 Pekerjaan survei lapangan sebelum

7.3.2 Useful information on piping system site conditions includes the following.:

7.3.2.1 Existing and proposed cathodic protection systems.

7.3.2.2 Possible interference sources (see Section 9).

7.3.2.3 Special environmental conditions.

7.3.2.4 Neighboring buried metallic structures (including location, ownership, and corrosion control practices).

7.3.2.5 Structure accessibility.

7.3.2.6 Power availability.

7.3.2.7 Feasibility of electrical isolation from foreign structures.

7.3.3 Useful information from field surveys, corrosion test data and operating experience includes the following:

7.3.3.1 Protective current requirements to meet applicable criteria.

7.3.3.2 Electrical resistivity of the electrolyte.

7.3.3.3 Electrical continuity.

7.3.3.4 Electrical isolation.

7.3.3.5 Coating integrity.

7.3.3.6 Cumulative leak history.

7.3.3.7 Interference currents.

7.3.3.8 Deviation from construction specifications.

7.3.3.9 Other maintenance and operating data.

7.3.4 Field survey work prior to actual

beroperasinya proteksi katodik tidak selalu disyaratkan bila ada pengalaman sebelumnya atau tersedianya data tes untuk estimasi arus listrik yang diperlukan, tahanan listrik elektrolit, dan faktor desain yang lain.

7.4 Tipe sistem proteksi katodik

7.4.1 Sistem anoda galvanik

7.4.1.1 Anoda galvanik/korban dapat dibuat dari material seperti paduan magnesium, seng, atau aluminium. Anoda dihubungkan dengan pipa, baik tunggal ataupun kelompok. Arus listrik yang keluar dari anoda korban dibatasi oleh perbedaan potensial antara anoda dan pipa dan tahanan listrik elektrolit.

7.4.2 Sistem anoda arus tanding

7.4.2.1 Anoda arus tanding dapat terbuat dari material seperti grafit, besi tuang silikon tinggi, paduan timah perak, logam murni, atau baja. Material tersebut dihubungkan dengan kabel yang dibungkus, baik secara tunggal atau kelompok terhadap terminal positif dari sumber arus listrik searah, seperti penyearah arus atau pembangkit listrik. Pipa dihubungkan ke terminal negatif dari sumber arus listrik searah.

7.5 Pertimbangan yang melibatkan pemilihan tipe sistem proteksi katodik mencakup hal-hal berikut:

7.5.1 Besarnya arus proteksi yang diperlukan;

7.5.2 Arus sesat yang menyebabkan fluktuasi potensial yang signifikan antara pipa dengan tanah yang bisa menghalangi pemakaian anoda korban;

7.5.3 Efek arus interferensi proteksi katodik pada struktur yang bersebelahan yang bisa membatasi penggunaan sistem proteksi katodik arus tanding;

7.5.4 Tersedianya tenaga listrik;

7.5.5 Tersedianya area, adanya struktur

application of cathodic protection is not always required if prior experience or test data are available to estimate current requirements, electrical resistivities of the electrolyte, and other design factors.

7.4 Types of cathodic protection systems

7.4.1 Galvanic anode systems

7.4.1.1 Galvanic anodes can be made of materials such as alloys of magnesium, zinc, or aluminium. The anodes are connected to the pipe, either individually or in groups. Galvanic anodes are limited in current output by the anode-to-pipe driving voltage and the electrolyte resistivity.

7.4.2 Impressed current anode systems

7.4.2.1 Impressed current anodes can be of materials such as graphite, high silicon cast iron, lead-silver alloy, precious metals, or steel. They are connected with an insulated cable, either individually or in groups, to the positive terminal of a direct current source, such as a rectifier or generator. The pipeline is connected to the negative terminal of the direct current source.

7.5 Considerations influencing selection of the type of cathodic protection system include the following:

7.5.1 Magnitude of protective current required;

7.5.2 Stray current causing, significant potential fluctuations between the pipeline and earth that may preclude the use of galvanic anodes;

7.5.3 Effects of cathodic protection interference currents on adjacent structures that may limit the use of impressed current cathodic protection system;

7.5.4 Availability of electrical power;

7.5.5 Physical space available, proximity of

lain, kemudahan pengadaan, kondisi permukaan. Adanya jalan dan bangunan, lintasan sungai, dan aspek konstruksi dan perawatan lain.

7.5.6 Pengembangan daerah *right-of-way* dan perluasan sistem perpipaan untuk waktu yang akan datang;

7.5.7 Biaya pemasangan, operasi, dan perawatan; dan

7.5.8 Tahanan listrik lingkungan.

7.6 Faktor-faktor yang mempengaruhi desain sistem proteksi katodik:

7.6.1 Berbagai material anoda mempunyai laju kerusakan yang berbeda tergantung dari kerapatan/densitas arus yang dilepas dari permukaan anoda ke lingkungan tertentu. Oleh karena itu, untuk arus keluar tertentu, umur anoda akan tergantung pada lingkungan, material, berat, dan jumlah anoda pada sistem proteksi katodik. Data unjuk kerja anoda yang ditetapkan bisa digunakan untuk menghitung laju kerusakan yang mungkin terjadi.

7.6.2 Data dimensi, kedalaman, konfigurasi anoda, dan tahanan elektrolit bisa digunakan untuk menghitung besarnya tahanan sistem anoda ke elektrolit. Formula dan grafik yang berhubungan dengan faktor ini tersedia dalam literatur dan dari pembuat anoda.

7.6.3 Desain sistem anoda korban sebaiknya mempertimbangkan potensial anoda ke pipa, tahanan elektrolit, keluaran arus listrik dan dalam kasus tertentu pada *anode lead wire resistance*. Suatu desain terpisah untuk setiap anoda atau sistem anoda tidak diperlukan.

7.6.4 Unjuk kerja anoda korban pada kebanyakan tanah bisa ditingkatkan dengan material penimbun khusus. Campuran gipsum, *bentonite*, dan *sodium sulphate* kering adalah yang umum digunakan.

7.6.5 Jumlah anoda arus tanding yang

foreign structures, easement procurement, surface conditions, presence of streets and buildings, river crossings, and other construction and maintenance aspects.

7.5.6 Future development of the right-of-way area and future extensions to the pipeline system;

7.5.7 Costs of installation, operation, and maintenance; and

7.5.8 Electrical resistivity of the environment.

7.6 Factors influencing design of cathodic protection systems:

7.6.1 Various anode materials have different rates of deterioration when discharging a given current density from the anode surface in a specific environment. Therefore, for a given current output, the anode life will depend on the environment and anode material, as well as the anode weight and the number of anodes in the cathodic protection system. Established anode performance data may be used to calculate the probable deterioration rate.

7.6.2 Data on the dimensions, depth, configuration of the anodes, and electrolyte resistivity may be used to calculate the resultant resistance-to-electrolyte of the anode system. Formulas and graphs relating to these factors are available in the literature and from manufacturers.

7.6.3 Design of galvanic anode systems should consider anode-to-pipe potential, electrolyte resistivity, current output, and in special cases anode lead wire resistance. A separate design for each anode or anode system may not be necessary.

7.6.4 Galvanic anode performance in most soils can be improved by using special backfill material. Mixtures of gypsum, bentonite, and anhydrous sodium sulphate are most commonly used.

7.6.5 The number of impressed current

diperlukan dapat dikurangi dan umur penggunaannya diperpanjang dengan penggunaan penimbun spesial di sekitar anoda. Material yang umum adalah *coal coke*, *calcined petroleum coke*, dan *natural graphite* atau *graphite* buatan.

7.6.6 Pada desain sistem, arus tanding dengan anoda yang didistribusikan secara meluas, melemahnya voltase dan arus listrik sepanjang kabel penghubung sebaiknya dipertimbangkan. Dalam hal demikian, tujuan dari desain adalah untuk mengoptimalkan panjang sistem anoda, jarak dan ukuran anoda, dan ukuran kabel agar memperoleh kontrol korosi yang sangat efisien pada struktur yang diproteksi.

7.6.7 Bila diantisipasi adanya gas terperangkap yang ditimbulkan oleh reaksi anodik dapat mengurangi kemampuan *ground-bed* arus tanding untuk mengirim arus yang disyaratkan, pemberian ventilasi yang sesuai untuk anoda harus ada. Untuk keluaran arus listrik yang sama dari sistem, penambahan luas permukaan dari material penimbun spesial atau penambahan jumlah anoda dapat mengurangi hambatan gas.

7.6.8 Bila diantisipasi bahwa efek *electro-osmotic* dapat mengurangi kemampuan *ground-bed* arus tanding untuk mengirim keluaran arus yang disyaratkan, sebaiknya dilakukan tindakan untuk meyakinkan bahwa kelembaban tanah di sekitar anoda telah cukup. Penambahan jumlah anoda arus tanding atau penambahan luas permukaan dari material penimbun spesial dapat lebih mengurangi efek *electro-osmotic*.

7.7 Gambar dan spesifikasi desain

7.7.1 Gambar yang sesuai sebaiknya disiapkan untuk menunjukkan tata letak secara keseluruhan dari pipa yang diproteksi dan lokasi dari barang-barang struktur yang berpengaruh, tempat tes kontrol korosi, sambungan listrik, peralatan isolasi elektrik, dan struktur logam yang tertimbun atau terbenam di sekitarnya.

7.7.2 Gambar tata letak sebaiknya disiapkan untuk setiap instalasi proteksi

anodes required can be reduced and their useful life lengthened by the use of special backfill around the anodes. The most common materials are coal coke, calcined petroleum coke, and natural or manufactured graphite.

7.6.6 In the design of an extensive distributed anode impressed current system, the voltage and current attenuation alone. the anode connecting (header) cable should be considered. In such cases, the design objective is to optimize anode size in order to achieve efficient corrosion control at the extremities of the protected structure.

7.6.7 Where it is anticipated that entrapment of gas generated by anodic reactions could impair the ability of the impressed current groundbed to deliver the required current, suitable provisions should be made for venting the anodes. For the same current output of the system, an increase in the surface area of the special backfill material or an increase in the number of anodes may reduce gas blockage.

7.6.8 Where it is anticipated that electro-osmotic effects could impair the ability of the impressed current ground-bed to deliver the required current output, suitable provisions should be made to ensure adequate soil moisture around the anodes. Increasing,, the number of impressed current anode or increasing the surface area of the special backfill materials may further reduce the electroosmotic effect.

7.7 Design drawings and specifications

7.7.1 Suitable drawings should be prepared to designate the overall layout of the piping to be protected and the location of significant items of structure hardware, corrosion control test stations, electrical bond, electrical isolation devices, and neighboring buried or submerged metallic structures.

7.7.2 Layout drawings should be prepared for each unpressed current cathodic

SNI 4184:2010

katodik arus tanding yang menunjukkan detail dan lokasi dari komponen sistem proteksi katodik yang berkaitan dengan struktur yang diproteksi dan terhadap tanda-tanda nyata daerah. Gambar ini harus dimasukkan sebagai informasi dari *right-of-way*.

7.7.3 Lokasi instalasi anoda korban sebaiknya dicatat pada gambar atau dalam bentuk tabulasi dengan catatan yang benar tentang tipe anoda, berat, jarak, kedalaman, dan penimbun.

7.7.4 Spesifikasi sebaiknya disiapkan untuk semua material dan praktek pemasangan yang akan disertakan dalam konstruksi dari sistem proteksi katodik.

protection installation, showing the details and location of the components of the cathodic protection system with respect to the protected structure(s) and to major physical landmarks. These drawings should include right-of-way information.

7.7.3 The locations of galvanic anode installations should be recorded on drawings or in tabular form, with appropriate notes on anode type, weight, spacing, depth, and backfill.

7.7.4 Specifications should be prepared for all materials and installation practices that are to be incorporated in construction of the cathodic protection system.



Bibliography for Section 7

Benedict, R.L., ed. *Anode Resistance Fundamentals and Applications—Classic Papers and Reviews*. Houston, TX: NACE, 1986.

Baboian, R., P.F. Drew, and K. Kawate. "Design of Platinum Clad Wire Anodes for Impressed Current Protection." *Materials Performance* 23, 9 (1984): pp. 31-35.

Collected Papers on Cathodic Protection Current Distribution. Houston, TX: NACE, 1989.

Doremus, G., and J.G. Davis. "Marine Anodes: The Old and New—Cathodic Protection for Offshore Structures." *Materials Performance* 6, 1 (1967): p. 30.

Dwight, H.B. "Calculations for Resistance to Ground." *Electrical Engineering* 55 (1936): p. 1319.

George P.F., J.J. Newport, and J.L. Nichols. "A High Potential Magnesium Anode." *Corrosion* 12, 12 (1956): p. 51.

Jacobs, J.A. "A Comparison of Anodes for Impressed Current Systems." NACE Canadian Region Western Conference, Edmonton, Alberta, Canada, February 1980.

Kurr, G.W. "Zinc Anodes—Underground Uses for Cathodic Protection and Grounding." *MP* 18, 4 (1979): pp. 34-41.

NACE Publication 2B160 (withdrawn). "Use of High Silicon Cast Iron for Anodes." Houston, TX: NACE.

NACE Publication 2B156 (withdrawn). "Final Report on Four Annual Anode Inspections." Houston, TX: NACE.

Parker, M.E. *Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection—A Field Manual*. Houston, TX: Gulf Publishing Company, 1962.

Robinson, H.A., and P.F. George. "Effect of Alloying and Impurity Elements in Magnesium Cast Alloy Anodes." *Corrosion* 10, 6 (1954): p. 182.

Rudenberg, R. "Grounding Principles and Practices." *Electrical Engineering* 64 (1945): p. 1.

Schreiber, C.F., and G.L. Mussinelli. "Characteristics and Performance of the LIDA Impressed-Current System in Natural Waters and Saline Muds." CORROSION/86, paper no. 287. Houston, TX: NACE, 1986.

Sunde, E.D.. *Earth Conduction Effects in Transmission Systems*. New York, NY: Dover Publications, 1968.

8 Pemasangan sistem proteksi katodik

8.1 Pendahuluan

8.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah untuk merekomendasikan prosedur pemasangan sistem proteksi katodik agar mencapai hasil yang dikehendaki. Pertimbangan desain yang direkomendasikan pada Bagian 4 dan 7 sebaiknya diikuti.

8.2 Spesifikasi konstruksi

8.2.1 Semua pekerjaan konstruksi pada sistem proteksi katodik sebaiknya dilaksanakan sesuai dengan gambar konstruksi dan spesifikasi. Spesifikasi konstruksi sebaiknya sesuai dengan praktek yang direkomendasikan pada Bagian 4 dan 7.

8.3 Pengawasan konstruksi

8.3.1 Semua pekerjaan konstruksi pada sistem proteksi katodik sebaiknya dilaksanakan di bawah pengawasan personil yang terlatih dan berkualifikasi untuk memastikan bahwa pemasangan telah sepenuhnya sesuai dengan gambar dan spesifikasi. Pengecualian boleh dilakukan hanya dengan persetujuan personil berkualifikasi yang bertanggung jawab untuk kontrol korosi.

8.3.2 Semua penyimpangan dari spesifikasi konstruksi sebaiknya dicatat pada gambar aktual.

8.4 Anoda galvanic

8.4.1 Inspeksi, penanganan, dan penyimpanan

8.4.1.1 Anoda terbungkus sebaiknya diinspeksi dan diambil tindakan untuk meyakinkan bahwa material penimbun berada di sekitar anoda secara merata. Pembungkus untuk material penimbun anoda sebaiknya benar-benar kontak. Bila pembungkus anoda kedap air, pembungkus harus dilepas sebelum pemasangan. Anoda terbungkus sebaiknya tetap dalam keadaan

8 Installation of cathodic protection system

8.1 Introduction

8.1.1 The purpose of this section is to recommend procedures that will result in the installation of cathodic protection systems that achieve protection of the structure. The design considerations recommended in Sections 4 and 7 should be followed.

8.2 Construction specifications

8.2.1 All construction work on cathodic protection systems should be performed in accordance with construction drawings and specifications. The construction specifications should be in accordance with recommended practices in Sections 4 and 7.

8.3 Construction supervision

8.3.1 All construction works on cathodic protection systems should be performed under the surveillance of trained and qualified personnel to verify that the installation is in strict accordance with the drawings and specifications. Exemptions may be made only with the approval of qualified personnel responsible for corrosion control.

8.3.2 All deviations from construction specifications should be noted on as-built drawings.

8.4 Galvanic anodes

8.4.1 Inspection, handling, and storage

8.4.1.1 Packaged anodes should be inspected and steps taken to ensure that backfill material completely surrounds the anode. The individual container for the backfill material and anode should be intact. If individually packaged anodes are supplied in waterproof containers, the containers must be removed before installation. Packaged anodes should be kept dry during

kering selama penyimpanan.

8.4.1.2 *Lead wire* harus dihubungkan dengan ketat pada anoda. Kawat utama sebaiknya diinspeksi untuk meyakinkan tidak adanya kerusakan.

8.4.1.3 Anoda korban yang lain, seperti tipe gelang tak terbungkus atau pita, sebaiknya diinspeksi untuk memastikan bahwa dimensinya sesuai dengan spesifikasi desain dan setiap kerusakan selama penanganan tidak memberikan efek pada pemakaian. Bila pelapis digunakan pada pita dan segmen anoda gelang pada bagian dalam pelapis sebaiknya diinspeksi dan bila rusak diperbaiki sebelum anoda dipasang.

8.4.2 Pemasangan anoda

8.4.2.1 Anoda sebaiknya dipasang sesuai dengan spesifikasi konstruksi.

8.4.2.2 Anoda korban terbungkus sebaiknya ditimbun dengan material dipadatkan yang tlepat. Bila anoda dan material penimbun kimia spesial diberikan secara terpisah, anoda harus ditempatkan ditengah penimbun spesial yang dipadatkan sebelum ditimbun. Sebaiknya diperhatikan agar *lead wire* dan sambungan tidak rusak selama pelaksanaan. *Lead wire* sebaiknya tidak tegang untuk menghindarkan regangan.

8.4.2.3 Bila anoda bentuk gelang digunakan, pelapis pipa di bawah anoda sebaiknya berupa *free of holidays*. Sebaiknya diperhatikan agar tidak terjadi kerusakan pada pelapis sewaktu memasan anoda gelang. Setelah pemasangan beton (bila digunakan) pada pipa, permukaan anoda sebaiknya dibersihkan dari semua pelapis dan beton. Bila menggunakan beton bertulang, harus tidak ada kontak logam antara anoda dan besi beton atau antara besi beton dengan pipa.

8.4.2.4 Bila menggunakan anoda tipe pita, dapat ditimbun atau dibenamkan sejajar dengan bagian pipa yang diproteksi dengan atau tanpa penimbun kimia spesial.

storage.

8.4.1.2 *Lead wire* must be securely connected to the anode. *Lead wire* should be inspected for assurance that it is not damaged.

8.4.1.3 Other galvanic anodes, such as unpacked "bracelet" type or ribbon, should be inspected to ensure that dimensions conform to design specifications and that any damage during handling does not affect application. If a coating is used on bands and the inner side of "bracelet" anode segments, it should be inspected and, if damaged, repaired before the anodes are installed.

8.4.2 Installing anodes

8.4.2.1 Anodes should be installed according to construction specifications.

8.4.2.2 Packaged galvanic anodes should be backfilled with appropriately compacted material. Where anodes and special chemical backfill are provided separately, anodes should be centered in special backfill, which should be compacted prior to backfilling. Care should be exercised so that lead wires and connections are not damaged during all operations. Sufficient slack should exist in lead wires to avoid strain.

8.4.2.3 Where anodes in bracelet form are used, pipe coating beneath the anode should be free of holidays. Care should be taken to prevent damage to the coating when installing bracelet anodes. After applications of concrete (if used) to pipe, all coating and concrete should be removed from anode surface. If metallic contact between anode and reinforcing mesh or between reinforcing mesh and pipe.

8.4.2.4 Where ribbon type anode is used, it can be trenched or plowed in, with or without special chemical backfill as required, generally parallel to the section of pipeline to be protected.

8.5 Sistem arus tanding

8.5.1 Inspeksi dan penanganan

8.5.1.1 Penyearah arus atau sumber tenaga yang lain, sebaiknya diinspeksi untuk memastikan bahwa hubungan di dalamnya terikat kuat dan bebas dari kerusakan. *Rating* dari sumber tenaga arus searah sebaiknya sesuai dengan spesifikasi konstruksi. Sebaiknya diperhatikan dalam penanganan dan pemasangan sumber daya listrik.

8.5.1.2 Anoda arus tanding sebaiknya diinspeksi terhadap kesesuaian dengan spesifikasi mengenai ukuran material anoda, panjang kabel utama hubungan *anode lead wire*, dan kesatuan penyekat. Sebaiknya diperhatikan agar keretakan atau kerusakan anoda selama penanganan dan pemasangan dapat dicegah.

8.5.1.3 Semua kabel sebaiknya diinspeksi secara cermat untuk mendeteksi cacat pada isolasi. Sebaiknya diperhatikan agar kerusakan isolasi pada kabel dapat dicegah. Cacat pada isolasi kabel harus diperbaiki.

8.5.1.4 Material penimbun anoda sebaiknya sesuai dengan spesifikasi.

8.5.2 Ketentuan pemasangan

8.5.2.1 Sebuah penyearah arus atau sumber tenaga listrik sebaiknya dipasang agar kemungkinan rusak atau dirusak orang menjadi minimal.

8.5.2.2 Hubungan kabel ke penyearah arus harus sesuai dengan ketentuan listrik lokal maupun nasional dan persyaratan penyedia tenaga listrik. Saklar pemutus di luar sebaiknya diberikan pada sirkuit arus bolak-balik. Kotak penyearah arus harus diberi pentanahan yang tepat.

8.5.2.3 Pada pembangkit termoelektrik, alat pembalik arus sebaiknya dipasang untuk mencegah terjadinya galvanik antara anoda bed dan pipa apabila nyala api padam

8.5 Impressed current systems

8.5.1 Inspection and handling

8.5.1.1 The rectifier or other power source should be inspected to ensure that internal connections are mechanically secure and that the unit is free of damage. Rating of the direct current power source should comply with the construction specification. Care should be exercised in handling and installing the power source.

8.5.1.2 Impressed current anodes should be inspected for conformance to specifications concerning anode material size, length of lead cable, anode lead connection, and integrity of seal. Care should be exercised to avoid cracking or damaging anodes during handling and installation.

8.5.1.3 All cable should be carefully inspected to detect defects in insulation. Care should be taken to avoid damage to insulation on cable. Defect in the cable insulation must be repaired.

8.5.1.4 Anode backfill material should conform to specifications.

8.5.2 Installation provisions

8.5.2.1 A rectifier or other power source should be installed so that the possibility of damage or vandalism is minimized.

8.5.2.2 Wiring to rectifiers shall comply with local and national electrical codes and requirements of utility supplying power. An external disconnect switch should be provided in the AC circuit. A rectifier case shall be properly grounded.

8.5.2.3 On thermoelectric generators, a reverse current device should be installed to prevent galvanic action between the anode bed and the pipe if the flame is extinguished.

8.5.2.4 Anoda arus tanding dapat ditanam secara vertikal, horisontal atau di dalam lubang yang dalam (lihat NACE standar RP0572 [revisi terakhir]) seperti ditunjukkan pada spesifikasi konstruksi. Material penimbun sebaiknya diberikan untuk meyakinkan tidak adanya ruang kosong di sekitar anoda. Sebaiknya diperhatikan agar kerusakan terhadap anoda dan kabel dapat dihindari selama penimbunan.

8.5.2.5 Kabel dari terminal negatif penyearah arus sebaiknya dihubungkan dengan pipa seperti dijelaskan pada Paragraf 8.6. Hubungan kabel ke penyearah arus harus terikat kuat dan terhubung secara elektrik. Sebelum sumber tenaga dihidupkan, harus dipastikan bahwa kabel negatif dihubungkan ke struktur yang diproteksi dan kabel positif dihubungkan dengan anoda. Setelah sumber tenaga arus searah dihidupkan, pengukuran yang sesuai sebaiknya dilakukan untuk memastikan bahwa hubungan ini benar.

8.5.2.6 Sambungan pada *header cable positive* ke *groundbed* di bawah tanah sebaiknya sesedikit mungkin. Hubungan antara kabel induk dengan anoda sebaiknya terikat kuat dan terhubung secara elektrik. Bila tertimbun atau terbenam, sambungan ini harus dibuat untuk mencegah penetrasi kelembaban sehingga dipastikan adanya isolasi elektrik terhadap lingkungan.

8.5.2.6 Perlindungan harus dilakukan sewaktu pemasangan kabel tanah ke anoda (kabel positif) untuk menghindarkan kerusakan pada isolasi. Semua kabel sebaiknya tidak tegang untuk menghindarkan regangan. Material penimbun sekitar kabel sebaiknya bebas dari batu dan benda asing yang dapat menyebabkan kerusakan pada isolasi jika kabel ditanam dalam parit. Kabel dapat dibenamkan jika diberikan perhatian yang benar.

8.5.2.7 Bila keutuhan isolasi pada kabel induk yang tertimbun atau terbenam, termasuk sambungan tidak dirawat, kabel ini dapat putus karena korosi.

8.5.2.4 Impressed current anodes can be buried vertically, horizontally, or in deep holes (see NACE Standard RP0572 [latest revision]) as indicated in construction specifications. Backfill material should be installed to ensure that there are no voids around anodes. Care should be exercised during backfilling to avoid damage to the anode and cable.

8.5.2.5 The cable from the rectifier negative terminal to pipe should be connected to the pipe as described in Paragraph 8.6. Cable connections to the rectifier must be mechanically secure and electrically conductive. Before the power source is energized, it must be verified that the negative cable is connected to the structure to be protected and that the positive cable is connected to the anodes. After the direct current power source has been energized, suitable measurements should be made to verify that these connections are correct.

8.5.2.6 Underground splices on header (positive) cable to the groundbed should be kept to a minimum. Connections between header and anode cables should be mechanically secure and electrical conductive. If buried or submerged, these connections must be sealed to prevent moisture penetration so that electrical isolation from the environment is ensured.

8.5.2.7 Care must be taken when installing direct burial cable to the anodes (positive cable) to avoid damage to insulation. Sufficient slack should be left to avoid strain on all cables. Backfill material around the cable should be free of rocks and foreign matter that might cause damage to the insulation when cable is installed in trench. Cable can be installed by plowing if proper precautions are taken.

8.5.2.8 If insulation integrity on the buried or submerged header cable, including splices, is not maintained, this cable may fail because of corrosion.

8.6 Tempat tes kontrol korosi, sambungan, dan ikatan (lihat paragraf 4.5, "Tempat tes kontrol korosi")

8.6.1 Pipa dan *test lead wire* sebaiknya bersih, kering, dan bebas dari benda asing pada titik sambungan ketika dilakukan penyambungan. Sambungan dari *test lead wire* ke pipa harus dipasang agar tetap terikat kuat dan tersambung baik secara elektrik.

8.6.2 Semua tambahan pada *lead wire* yang tertimbun maupun terbenam sebaiknya dilapisi dengan material isolasi elektrik yang sesuai dengan pelapis pipa dan isolasi kabel.

8.6.3 *Test lead wire* sebaiknya diberi kode warna atau diidentifikasi secara permanen. Kabel sebaiknya dipasang tidak tegang. Kerusakan pada isolasi sebaiknya dihindari dan diperbaiki bila terjadi. Kabel tes sebaiknya tidak terkena panas langsung dan sinar matahari yang berlebihan. Disarankan tempat tes di atas tanah. Bila tempat tes rata dengan tanah, sebaiknya diberikan lebih panjang kabel yang cukup di tempat tersebut untuk sambungan tes.

8.6.4 Sambungan kabel pada ikatan ke struktur lain atau yang melewati sambungan isolasi sebaiknya terikat kuat, terhubung secara elektrik, dan diberi lapisan yang sesuai. Sambungan ikatan sebaiknya dapat dicapai untuk pengetesan.

8.7 Isolasi elektrik

8.7.1 Untuk menjamin bahwa isolasi elektrik telah mencukupi, sebaiknya dilakukan inspeksi dan pengukuran elektrik (lihat *NACE Standard SP0286* [revisi terakhir]).

9 Kontrol arus interferensi

9.1 Pendahuluan

9.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah untuk merekomendasikan praktek dalam mendeteksi dan mengontrol arus interferensi. Dijelaskan pula mekanisme dan

8.6 Corrosion control test stations, connections, and bonds (see paragraph 4.5, "Corrosion control test stations")

8.6.1 Pipe and test lead wire should be clean, dry, and free of foreign materials at points of connection when the connections are made. Connections of test lead wires to pipe must be installed so they will remain mechanically secure and electrically conductive.

8.6.2 All buried or submerged lead wire attachments should be coated with an electrically insulating material, compatible with the pipe coating and wire insulation.

8.6.3 Test lead wires should be colour coded or otherwise permanently identified. Wires should be installed with slack. Damage to insulation should be avoided and repairs made if damage occurs. Test leads should not be exposed to excessive heat and sunlight. Aboveground test stations are preferred. If test stations are flush with the ground, adequate slack should be provided within the test station to facilitate test connections.

8.6.4 Cable connections at bonds to other structures or across isolating joints should be mechanically secure, electrically conductive, and suitably coated. Bond connections should be accessible for testing.

8.7 Electrical isolation

8.7.1 Inspection and electrical measurements should ensure that electrical isolation is adequate (see *NACE SP0286* [latest revision]).

9 Control of interference currents

9.1 Introduction

9.1.1 The purpose of the section is to recommend practices for the detection and control of interference currents. The mechanism and detrimental effects are described.

akibat kerusakannya.

9.2 Mekanisme korosi arus interferensi (korosi arus sesat)

9.2.1 Korosi arus interferensi pada struktur logam tertimbun atau terbenam berbeda dengan penyebab kerusakan korosi yang lain, di mana arus searah sebagai penyebab korosi, berasal dari sumber lain dari struktur yang dikenai. Pada umumnya arus interferensi ini terkumpul dari elektrolit di sekitar struktur yang terkena akibat dari suatu sumber arus searah yang secara mekanis tidak terhubung ke struktur yang terkena akibat tersebut.

9.2.1.1 Kerusakan yang diakibatkan oleh arus interferensi umumnya terjadi pada lokasi di mana arus berpindah dari struktur yang terkena akibat ke elektrolit.

9.2.1.2 Struktur yang terbuat dari logam amphoteric seperti aluminium dan timah bisa terkena korosi akibat alkalinitas yang timbul di atau dekat permukaan logam yang menghimpun arus interferensi.

9.2.1.3 Pelapis bisa mengalami *disbonding* pada daerah di mana gradien voltase dalam elektrolit mendorong arus ke struktur yang terkena akibat. Akan tetapi, karena adanya *disbonding* pada pelapis, mungkin terjadi daerah logam terbuka yang cukup luas yang akan menambah kebutuhan arus proteksi katodik. *Disbonding* ini bisa menimbulkan persoalan tersendiri.

9.2.2 Keparahan korosi yang diakibatkan oleh arus interferensi tergantung pada beberapa faktor:

9.2.2.1 Pemisahan dan rute dari struktur yang diinterferensi dan yang terkena akibat dan lokasi sumber arus interferensi;

9.2.2.2 Besar dan kerapatan arus;

9.2.2.3 Kualitas pelapis atau tidak adanya pelapis pada struktur yang dimaksud; dan

9.2.2.4 Keberadaan dan lokasi dari sambungan mekanik yang mempunyai

9.2 Mechanism of interference current corrosion (stray current corrosion)

9.2.1 Interference current corrosion on buried or submerged metallic structures differs from other causes of corrosion damage in that the direct current, which causes the corrosion, has a source foreign to the affected structure. Usually the interfering current is collected from the electrolyte by the affected structure from a direct current source not metallically bonded to the affected structure.

9.2.1.1 Detrimental effects of interference currents usually occur at locations where the currents transfer between the affected structures and the electrolyte.

9.2.1.2 Structures made of amphoteric metals such as aluminum and lead may be subject to corrosion damage from a buildup of alkalinity at or near the metal surface collecting interference currents.

9.2.1.3 Coatings may become disbonded at the areas where voltage gradients in the electrolyte force current on the affected structure. However, as the coating becomes disbonded, a larger area of metal may be exposed, which would increase the demand for a cathodic protection current. This disbondment may create shielding problems.

9.2.2 The severity of corrosion resulting from interference currents depends on several factors:

9.2.2.1 Separation and routing of the interfering and affected structures and location of the interfering current source;

9.2.2.2 Magnitude and density of the current;

9.2.2.3 Quality of the coating or absence of a coating, on the structures involved; and

9.2.2.4 Presence and location of mechanical joints having high electrical

tahanan listrik yang tinggi.

9.2.3 Sumber tipikal arus interferensi mencakup hal-hal berikut:

9.2.3.1 Arus searah: penyearah arus proteksi katodik, pembangkit thermo-elektrik, sistem transit dan kereta listrik arus searah, sistem pemuatan tambang batu bara dan pompa, mesin las, dan sistem tenaga arus searah yang lain;

9.2.3.2 Arus bolak-balik: sistem tenaga arus bolak-balik dan sistem kereta listrik arus bolak balik; dan

9.2.3.3 Arus telurik.

9.3 Deteksi arus interferensi

9.3.1 Selama survei kontrol korosi, personil sebaiknya diingatkan untuk mengobservasi keadaan elektrik atau fisik yang dapat menunjukkan interferensi dari sumber asing seperti berikut:

9.3.1.1 Perubahan potensial pipa ke elektrolit pada struktur yang terkena akibat yang disebabkan oleh sumber arus searah lain;

9.3.1.2 Perubahan pada besar atau arah arus yang diakibatkan oleh sumber arus searah lain.

9.3.1.3 *Fitting* yang terlokalisasi di dekat atau di sebelah dari struktur lain; dan

9.3.1.4 Kerusakan pada lapisan protektif di daerah yang terlokalisasi dekat *anode bed* atau sumber arus searah sesat yang lain.

9.3.2 Pada daerah di mana arus interferensi dicurigai, sebaiknya dilakukan tes yang benar. Semua pihak yang terlibat sebaiknya diberitahu sebelum tes dilakukan. Pemberitahuan sebaiknya disampaikan kepada koordinator kontrol korosi, apabila mereka ada (see NACE Publication TPC 11⁸) Salah satu atau kombinasi dari metoda tes berikut ini dapat digunakan.

resistance.

9.2.3 Typical sources of interference currents include the following.

9.2.3.1 Direct current: cathodic protection rectifiers, thermoelectric generators, direct current electrified railway and transit systems, coal mine haulage systems and pumps, welding machines, and other direct current power systems;

9.2.3.2 Alternating current: alternating current power systems and alternating current electrified railway systems; and

9.2.3.3 Telluric current.

9.3 Detection of interference currents

9.3.1 During corrosion control surveys, personnel should be alert for electrical or physical observations that could indicate interference from a foreign source such as the following:

9.3.1.1 Pipe-electrolyte potential changes on the affected structure caused by the foreign direct current source.

9.3.1.2 Changes in the line current magnitude or direction caused by the foreign direct current source;

9.3.1.3 Localized fitting in areas near or immediately adjacent to a foreign structure; and

9.3.1.4 Damage to protective coatings in a localised area near an anode bed or near any other source of stray direct current.

9.3.2 In areas where interference currents are suspected, appropriate test should be conducted. All affected parties shall be notified before tests are conducted. Notification should be channeled through corrosion control coordinating committees, when they exist (see NACE Publication TPC 11⁸). Any one or combination of the following, test methods can be used.

9.3.2.1 Pengukuran potensial struktur ke elektrolit dengan instrumen penunjuk atau instrumen rekod.

9.3.2.2 Pengukuran arus yang mengalir pada struktur dengan instrumen penunjuk atau instrumen rekod.

9.3.2.3 Pengembangan kurva beta untuk menentukan daerah pelepasan arus maksimal dari struktur yang terkena akibat (lihat Apendiks A); dan

9.3.2.4 Pengukuran variasi keluaran arus pada sumber yang dicurigai untuk arus interferensi dan korelasinya dengan pengukuran yang didapat pada paragraf 9.3.2.1 dan 9.3.2.2.

9.4 Metoda untuk mengurangi masalah korosi interferensi

9.4.1 Masalah interferensi adalah spesifik dan pemecahannya sebaiknya memuaskan semua pihak yang terkait. Metoda ini bisa digunakan secara sendiri atau kombinasi.

9.4.2 Desain dan pemasangan dari sambungan listrik dengan tahanan yang benar antara struktur yang terkena akibat adalah teknik untuk mengontrol interferensi. Sambungan secara elektrik menghubungkan arus interferensi dari struktur yang terkena akibat dengan struktur yang menginterferensi dan/atau sumber arus.

9.4.2.1 Peralatan kontrol *uni-directional*, seperti dioda atau saklar arus balik bisa diperlukan bersama dengan sambungan listrik jika terjadi fluktuasi arus. Peralatan ini mencegah aliran arus berbalik.

9.4.2.2 Sebuah tahanan mungkin diperlukan pada sambungan sirkuit untuk mengontrol aliran arus listrik dari struktur yang terkena akibat ke struktur yang menginterferensi.

9.4.2.3 Pemasangan *electrical bonds* dapat mengurangi tingkat proteksi katodik pada struktur yang menginterferensi. Tambahan proteksi katodik kemudian diperlukan pada

9.3.2.1 Measurement of structure-electrolyte potentials with recording or indicating instruments;

9.3.2.2 Measurement of current flowing on the structure with recording or indicating instruments;

9.3.2.3 Development of beta curves to locate the area of maximum current discharge from the affected structure (see Appendix A); and

9.3.2.4 Measurement of the variations in current output of the suspected source of interference current and correlation with measurements obtained in Paragraph 9.3.2.1 and 9.3.2.2.

9.4 Methods for mitigating interference corrosion problems

9.4.1 Interference problems are individual in nature and the solution should be mutually satisfactory to the parties involved. These methods may be used individually or in combinations.

9.4.2 Design and installation of electrical bonds of proper resistance between the affected structures is a technique for interference control. The bond electrically conducts interference current from an affected structure to the interfering structure and/or current source.

9.4.2.1 Uni-directional control devices, such as diodes or reverse current switches, may be required in conjunction with electrical bonds if fluctuating currents are present. These devices prevent reversal of current flow.

9.4.2.2 A resistor may be necessary in the bond circuit to control the flow of electrical current from the effected structure to the interfering structure.

9.4.2.3 The attachment of electrical bonds can reduce the level of cathodic protection on the interfering structure. Supplementary cathodic protection may then be required

struktur yang menginterferensi sebagai kompensasi.

9.4.2.4 Sebuah ikatan mungkin tidak efektif untuk mengurangi masalah interferensi pada pipa tak berlapis atau pipa yang berlapis buruk yang diproteksi secara katodik yang menyebabkan interferensi pada pipa berlapis.

9.4.3 Arus proteksi katodik dapat diaplikasikan pada struktur yang terkena akibat pada lokasi di mana arus interferensi dilepaskan. Sumber arus proteksi katodik bisa berupa anoda korban atau anoda arus tanding.

9.4.4 Pengaturan keluaran arus dari penyearah arus proteksi katodik yang menginterferensi bisa memecahkan masalah interferensi

9.4.5 Pemindahan *ground beds* dari penyearah arus proteksi katodik dapat mengurangi atau menghilangkan pengambilan arus interferensi pada struktur di dekatnya.

9.4.6 Perubahan rute pipa penyalur yang diusulkan bisa menghindarkan sumber arus interferensi.

9.4.7 Penempatan isolasi fitting yang tepat di struktur yang terpengaruh dapat mengurangi atau memperbaiki masalah interferensi.

9.4.7 Aplikasi pelapis pada daerah pengambilan arus bisa mengurangi atau memecahkan masalah interferensi.

9.5 Indikasi masalah interferensi yang terpecahkan

9.5.1 Restorasi potensial struktur-elektrolit pada struktur yang terkena akibat atau terpengaruh ke nilai-nilai yang ada sebelum interferensi.

9.5.2 Arus yang diukur pada struktur yang terkena akibat yang menunjukkan bahwa arus interferensi tidak dilepaskan ke elektrolit.

on the interfering structure to compensate for this effect.

9.4.2.4 A bond may not effectively mitigate the interference problem in the case of a cathodically protected bare or poorly coated pipeline that is causing interference on a coated pipeline.

9.4.3 Cathodic protection current can be applied to the affected structure at those locations where the interfering current is being discharged. The source of cathodic protection current may be galvanic or impressed current anodes.

9.4.4 Adjustment of the current output from interfering cathodic protection rectifiers may resolve interference problems.

9.4.5 Relocation of the ground beds of cathodic protection rectifiers can reduce or eliminate the pick-up of interference currents on nearby structures.

9.4.6 Rerouting of proposed pipelines may avoid sources of interference current.

9.4.7 Properly located isolating fittings in the affected structure may reduce or resolve interference problems.

9.4.8 Application of coating to current pick-up area(s) may reduce or resolve interference problems.

9.5 Indications of resolved interference problems

9.5.1 Restoration of the structure-electrolyte potentials on the affected structure to those values which existed prior to the interference.

9.5.2 Measured line current on the affected structure which show that the interference current is not being discharged to the electrolyte.

9.5.3 Pengaturan kemiringan dari kurva beta yang menunjukkan bahwa pelepasan arus telah dihilangkan di lokasi yang terekspos maksimal (lihat Apendiks A).

9.5.3 Adjustment of the slope of the beta curve to show that current discharge has been eliminated at the location of maximum exposure (see Appendix A).

10 Pengoperasian dan pemeliharaan sistem proteksi katodik

10 Operation and maintenance of cathodic protection systems

10.1 Pendahuluan

10.1 Introduction

10.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah untuk merekomendasikan berbagai prosedur dan praktek untuk menghidupkan dan menjaga kontinuitas operasi yang efektif dan efisien dari sistem proteksi katodik.

10.1.1 The purpose of this section is to recommend procedures and practices for energizing and maintaining continuous, effective, and efficient operation of cathodic protection systems.

10.1.1.1 Pengukuran listrik dan inspeksi diperlukan untuk menentukan bahwa proteksi telah ditetapkan sesuai dengan kriteria yang berlaku dan bahwa setiap bagian dari sistem proteksi katodik beroperasi secara benar. Kondisi yang mempengaruhi proteksi dapat berubah. Sehubungan dengan itu, perubahan mungkin diperlukan dalam sistem proteksi katodik untuk menjaga proteksi. Pengukuran dan inspeksi secara periodik diperlukan untuk mendeteksi perubahan dalam sistem proteksi katodik. Bisa terjadi suatu kondisi di mana pengalaman menunjukkan bahwa pengujian dan inspeksi perlu dilakukan lebih sering daripada yang direkomendasikan yang mungkin ada.

10.1.1.1 Electrical measurements and inspection are necessary to determine that protection has been established according to applicable criteria and that each part of the cathodic protection system is operating properly. Conditions that affect protection are subject to change. Correspondingly, changes may be required in the cathodic protection system to maintain protection. Periodic measurements and inspections are necessary to detect changes in the cathodic protection system. Conditions may exist where operating experience indicates that testing and inspections need to be made more frequently than recommended herein may exist.

10.1.1.2 Dalam memilih lokasi, sebaiknya diperhatikan jumlah dan tipe pengukuran listrik yang digunakan untuk menentukan kecukupan proteksi katodik.

10.1.1.2 Care should be exercised in selecting the location, number, and type of electrical measurements used to determine the adequacy of cathodic protection.

10.1.1.3 Bila dapat dilaksanakan dan perlu ditentukan dengan praktek engineering yang baik, sebaiknya dilakukan suatu survei potensial yang detail (interval pendek) untuk:

10.1.1.3 Where practicable and determined necessary by sound engineering practice, a detailed (close interval) potential survey should be conducted to:

- (a) menaksir efektivitas dari sistem proteksi katodik;
- (b) memberikan data operasi dasar;
- (c) menentukan daerah yang tidak cukup tingkat proteksinya;
- (d) mengidentifikasi lokasi yang kemungkinan diperburuk oleh pengaruh konstruksi, arus sesat atau kondisi lingkungan yang tidak biasa; atau,
- (e) memilih daerah untuk dimonitor secara

- (a) assess the effectiveness of the cathodic protection system.
- (b) provide base line operating data.,
- (c) locate areas of inadequate protection levels;
- (d) identify locations likely to be adversely affected by construction, stray currents, or other unusual environmental conditions; or,
- (e) select areas to be monitored periodically.

periodik.

10.1.1.4 Pengaturan terhadap sistem proteksi katodik sebaiknya diikuti dengan pengujian yang cukup untuk memastikan bahwa kriteria tetap memuaskan dan untuk menaksir kembali interferensi terhadap struktur lain atau titik isolasi.

10.2 Survei pada setiap sistem proteksi katodik sebaiknya dilakukan setelah dihidupkan dan/atau diatur untuk menentukan apakah kriteria yang berlaku pada Bagian 6 telah dipenuhi.

10.3 Efektivitas sistem proteksi katodik sebaiknya dimonitor setiap tahun. Interval monitor yang lebih lama atau lebih singkat mungkin sesuai, tergantung pada variasi faktor proteksi katodik, pertimbangan keselamatan, dan keekonomisannya.

10.4 Inspeksi dan tes fasilitas proteksi katodik sebaiknya dilakukan untuk memastikan pengoperasian dan perawatan yang benar seperti berikut:

10.4.1 Semua sumber arus tanding sebaiknya diperiksa pada interval dua bulanan. Interval monitor yang lebih lama atau lebih singkat mungkin sesuai. Petunjuk adanya fungsi yang benar bisa berupa keluaran arus, konsumsi tenaga yang normal, tanda yang menunjukkan operasi normal, atau tingkat proteksi katodik pada pipa yang memuaskan.

10.4.2 Semua fasilitas proteksi arus tanding sebaiknya diinspeksi setiap tahun sebagai bagian dari program pemeliharaan preventif untuk meminimalkan kegagalan *in-service*. Interval monitor yang lebih lama atau lebih singkat mungkin sesuai. Inspeksi bisa termasuk pemeriksaan listrik yang tidak berfungsi, sambungan pentanahan, akurasi meter, efisiensi, dan tahanan sirkuit.

10.4.3 Saklar arus balik, dioda, ikatan interferensi, dan peralatan proteksi yang lain, yang kegagalannya akan membahayakan proteksi terhadap struktur, sebaiknya diinspeksi untuk kebenaran

10.1.1.4 Adjustments to a cathodic protection system should be accompanied by sufficient testing to assure the criteria remain satisfied and to reassess interference to other structures or isolation points.

10.2 A survey should be conducted after each cathodic protection system is energized and/or adjusted to determine whether the applicable criterion or criteria from Section 6 have been satisfied.

10.3 The effectiveness of the cathodic protection system should be monitored annually. Longer or shorter intervals for monitoring may be appropriate, depending on the variability of cathodic protection factors, safety considerations, and economics of monitoring.

10.4 Inspection and tests of cathodic protection facilities should be made to ensure their proper operation and maintenance as follows:

10.4.1 All sources of impressed current should be checked at intervals of two months. Longer or shorter intervals for monitoring may be appropriate. Evidence of proper functioning may be current output, normal power consumption, a signal indicating normal operation, or satisfactory cathodic protection levels on the pipe.

10.4.2 All impressed current protective facilities should be inspected annually as part of a preventive maintenance program to minimize in-service failure. Longer or shorter interval for monitoring may be appropriate. Inspections may include a check for electrical malfunctions, safety ground connections, meter accuracy, efficiency, and circuit resistance.

10.4.3 Reverse current switches, diodes, interference bonds, and other protective devices, whose failures would jeopardize structure protection, should be inspected for proper functioning at intervals of two

fungsi pada interval dua bulanan. Interval monitor yang lebih lama atau lebih singkat mungkin sesuai.

10.4.4 Efektivitas fitting isolasi, kontinuitas ikatan, dan isolasi *casing* sebaiknya dievaluasi selama periode survei. Hal ini dapat dilaksanakan dengan pengukuran elektrik.

10.5 Bila pipa telah terlihat, sebaiknya diperiksa akan adanya korosi dan, bila berlapis, diperiksa kondisi pelapisnya.

10.6 Peralatan tes yang digunakan untuk memperoleh setiap besaran elektrik sebaiknya dari tipe yang sesuai. Instrumen dan peralatan yang dimaksud sebaiknya dijaga dalam kondisi operasi yang baik dan diperiksa akurasi.

10.7 Bila tes dan inspeksi periodik menunjukkan bahwa proteksi sudah tidak mencukupi lagi, sebaiknya segera dilakukan tindakan yang mencakup hal-hal berikut:

10.7.1 Memperbaiki, mengganti atau mengatur komponen sistem proteksi katodik,

10.7.2 Memberikan tambahan fasilitas bila tambahan proteksi diperlukan;

10.7.3 Membersihkan secara menyeluruh dan melapis dengan benar struktur yang tak berlapis bila diperlukan untuk memperoleh proteksi katodik;

10.7.4 Memperbaiki, mengganti atau mengatur ikatan-ikatan kontinuitas dan interferensi;

10.7.5 Melepaskan kontak logam tak tersengaja, dan

10.7.6 Memperbaiki alat isolasi yang rusak.

10.8 Hubungan singkat listrik antara *casing* dan pipa di dalamnya dapat mengakibatkan proteksi katodik dari pipa di luar *casing* tidak cukup karena pengurangan arus proteksi ke pipa.

months. Longer or shorter intervals for monitoring may be appropriate.

10.4.4 The effectiveness of isolating fittings, continuity bonds, and easing isolation should be evaluated during the periodic surveys. This may be accomplished by electrical measurements.

10.5 Where pipe has been uncovered, it should be examined for evidence of corrosion and, if coated, for condition of the coating.

10.6 The test equipment used for obtaining each electrical value should be of an appropriate type. Instruments and related equipment should be maintained in good operating condition and checked for accuracy.

10.7 Remedial measures should be taken where periodic test and inspections indicate that protection is no longer adequate. These measures may include the following:

10.7.1 Repair, replace, or adjust components of cathodic protection systems;

10.7.2 Provide supplementary facilities where additional protection is necessary;

10.7.3 Thoroughly clean and properly coat bare structures if required to attain cathodic protection;

10.7.4 Repair, replace, or adjust continuity and interference bonds;

10.7.5 Remove accidental metallic contacts; and

10.7.6 Repair defective isolating devices.

10.8 An electrical short circuit between a casing and carrier pipe can result in inadequate cathodic protection of the pipeline outside of the casing due to reduction of protective current to the

10.8.1 Bila hubungan singkat listrik menghasilkan proteksi katodik dari pipa di luar *casing* tidak cukup, harus diambil tindakan untuk mengembalikan proteksi katodik ke tingkat yang disyaratkan untuk memenuhi kriteria proteksi katodik. Tindakan ini bisa termasuk menghilangkan hubungan singkat antara *casing* dan pipa di dalamnya, menambah proteksi katodik, atau memperbaiki kualitas pelapis pada pipa di luar *casing*. Tidak satupun dari tindakan ini yang memastikan tidak terjadinya korosi pada *carrier pipe* di bagian dalam *casing*, akan tetapi, hubungan singkat *casing* tidak selalu mengakibatkan korosi pada *carrier pipe* di bagian dalam *casing*.

10.9 Bila akibat dari penyekatan listrik arus proteksi katodik terdeteksi, situasi ini sebaiknya dievaluasi dan diambil tindakan yang semestinya.

11 Rekod pengendalian korosi

11.1 Pendahuluan

11.1.1 Tujuan dari bagian ini adalah untuk menjelaskan rekod kontrol korosi yang akan mendokumentasikan secara jelas, ringkas, dalam kondisi yang dapat dipakai, data yang berhubungan dengan desain, instalasi, pengoperasian, pemeliharaan, dan efektivitas pengukuran kontrol korosi.

11.2 Berkaitan dengan penentuan keperluan untuk kontrol korosi, hal-hal berikut sebaiknya direkod:

11.2.1 Kebocoran karena korosi, pipa pecah, dan penggantian pipa,

11.2.2 Kondisi pipa dan pelapis yang diobservasi ketika struktur tertanam terlihat.

11.3 Berkaitan dengan desain struktur, hal-hal berikut sebaiknya direkod:

11.3.1 Material pelapis dan spesifikasi aplikasinya, dan

pipeline.

10.8.1 When a short results in inadequate cathodic protection of the pipeline outside of the casing, steps must be taken to restore cathodic protection to a level required to meet cathodic protection criterion. These steps may include eliminating the short between the casing and carrier pipe, supplementing cathodic protection, or improving the quality of the coating on the pipeline outside of the casing. None of these steps will ensure that corrosion will not occur on the carrier pipe inside the casing, however, a shorted casing does not necessarily result in corrosion of the carrier pipe inside of the casing.

10.9 When the effects of electrical shielding of cathodic protection current are detected, the situation should be evaluated and appropriate action taken.

11 Corrosion control records

11.1 Introduction

11.1.1 The purpose of this section is to describe corrosion control records that will document in a clear, concise, workable manner, data that is pertinent to the design, installation, operation, maintenance, and effectiveness of corrosion control measures.

11.2 Relative to the determination of the need for corrosion control, the following should be recorded:

11.2.1 Corrosion leaks, breaks, and pipe replacements; and

11.2.2 Pipe and coating condition observed when a buried structure is exposed.

11.3 Relative to structure design, the following should be recorded:

11.3.1 Coating material and application specifications; and

11.3.2 Desain dan lokasi dari peralatan isolasi, *test lead*, dan fasilitas tes yang lain, dan detail dari pengukuran kontrol korosi spesial lain yang diambil.

11.3.2 Design and location of isolating devices, test leads and other test facilities, and details of other special corrosion control measures taken.

11.4 Berkaitan dengan desain dari fasilitas kontrol korosi, hal-hal berikut sebaiknya direkod:

11.4 Relative to the design of corrosion control facilities, the following should be recorded:

11.4.1 Hasil tes kebutuhan arus;

11.4.1 Results of current requirements tests;

11.4.2 Hasil survei tahanan tanah;

11.4.2 Results of soil resistivity surveys;

11.4.3 Lokasi dari struktur lain; dan

11.4.3 Location of foreign structures; and

11.4.4 Tes interferensi dan desain instalasi dari ikatan interferensi dan instalasi saklar arus balik.

11.4.4 Interference tests and design of interference bonds reverse current switch installations.

11.4.4.1 Penjadwalan tes interferensi yang berhubungan dengan komite pengarah kontrol korosi, dan berkomunikasi langsung dengan perusahaan-perusahaan yang terkait.

11.4.4.1 Scheduling of interference tests, correspondence with corrosion control coordinating committees, and direct communication with the concerned companies.

11.4.4.2 Rekod tentang tes interferensi yang dilakukan, termasuk lokasi tes, nama perusahaan yang terlibat, dan hasilnya.

11.4.4.2 Record of interference test conducted, including location of test, name of company involved, and results.

11.5 Berkaitan dengan instalasi fasilitas kontrol korosi, hal-hal berikut sebaiknya direkod:

11.5 Relative to the installation of corrosion control facilities, the following should be recorded:

11.5.1 Instalasi fasilitas-fasilitas proteksi katodik:

11.5.1 Installation of cathodic protection facilities:

11.5.1.1 Sistem arus tanding:

11.5.1.1 Impressed current systems:

11.5.1.1.1 Lokasi dan tanggal beroperasi;

11.5.1.1.1 Location and date placed in service;

11.5.1.1.2 Jumlah, tipe, ukuran, kedalaman, penimbun, dan jarak antara anoda;

11.5.1.1.2 Number, type, size, depth, backfill, and spacing of anodes;

11.5.1.1.3 Spesifikasi penyearah arus atau sumber energi lain; dan

11.5.1.1.3 Specifications of rectifier or other energy source; and

11.5.1.1.4 Ukuran kabel dan tipe isolasi.

11.5.1.1.4 Cable size and type of insulation.

11.5.1.2 Sistem anoda korban:

11.5.1.2 Galvanic anode systems:

SNI 4184:2010

11.5.1.2.1 Lokasi dan tanggal beroperasi;

11.5.1.2.2 Jumlah, tipe, ukuran, penimbun, dan jarak antara anoda;

11.5.1.2.3 Ukuran kabel dan tipe isolasi.

11.5.2 Instalasi fasilitas pencegahan interferensi:

11.5.2.1 Detail instalasi ikatan interferensi:

11.5.2.1.1 Lokasi dan nama perusahaan yang terlibat;

11.5.2.1.2 Nilai tahanan dari informasi lain yang terkait, dan

11.5.2.1.3 Besaran dan polaritas dari arus listrik yang keluar

11.5.2.2 Detail saklar arus bolak-balik:

11.5.2.2.1 Lokasi dan nama perusahaan;

11.5.2.2.2 Tipe saklar atau peralatan ekuivalen; dan

11.5.2.2.3 Data yang memperlihatkan efektivitas pengaturan operasi.

11.5.2.3 Detail koreksi pengukuran lainnya.

11.6 Rekod survei, inspeksi, dan uji seharusnya dijaga untuk mendemonstrasikan bahwa criteria yang berlaku untuk pengaturan intererensi dan prroteksi katodik sudah memuaskan.

11.7 Dalam perawatan fasilitas pengendalian korosi eksternal, informasi berikut seharusnya direkod:

11.7.1 Perawatan fasilitas proteksi katodik:

11.7.1.1 Perbaikan penyearah arus dan sumber tenaga arus searah lainnya; dan

11.5.1.2.1 Location and date placed in service;

11.5.1.2.2 Number, type, size, backfill, and spacing of anodes; and

11.5.1.2.3 Wire size and type of insulation.

11.5.2 Installation of interference mitigation facilities:

11.5.2.1 Details of interference bond installation:

11.5.2.1.1 Location and name of company involved;

11.5.2.1.2 Resistance value of other pertinent information, and

11.5.2.1.3 Magnitude and polarity of drainage current.

11.5.2.2 Details of reverse current switch:

11.5.2.2.1 Location and name of companies;

11.5.2.2.2 Type of switch or equivalent device; and

11.5.2.2.3 Data showing effective operating adjustment.

11.5.2.3 Details of other remedial measures.

11.6 Records of surveys, inspections, and tests should be maintained to demonstrate that applicable criteria for interference control and CP have been satisfied.

11.7 Relative to the maintenance of external corrosion control facilities, the following information should be recorded:

11.7.1 Maintenance of CP facilities:

11.7.1.1 Repair of rectifiers and other DC power sources; and

11.7.1.2 Perbaikan atau penggantian anoda, penghubung, kawat, dan kabel.

11.7.2 Perawatan ikatan interferensi dan saklar arus bolak-balik:

11.7.2.1 Perbaikan ikatan interferensi; dan

11.7.2.2 Perbaikan saklar arus bolak-balik atau peralatan ekuivalen.

11.7.3 Perawatan, perbaikan, dan penggantian pelapisan eksternal, peralatan isolasi, *lead* uji, dan fasilitas uji lainnya.

11.8 Rekod cukup mendemonstrasikan evaluasi kebutuhan dan efektifitas ukuran pengendalian korosi eksternal seharusnya dijaga selama fasilitas terkait masih dipakai. Rekod yang berhubungan dengan pengendalian korosi eksternal lainnya seharusnya dipertahankan dalam periode sesuai kebutuhan perusahaan.

11.7.1.2 Repair or replacement of anodes, connections, wires, and cables.

11.7.2 Maintenance of interference bonds and reverse current switches:

11.7.2.1 Repair of interference bonds; and

11.7.2.2 Repair of reverse current switches or equivalent devices.

11.7.3 Maintenance, repair, and replacement of external coating, isolating devices, test leads, and other test facilities.

11.8 Records sufficient to demonstrate the evaluation of the need for and the effectiveness of external corrosion control measures should be maintained as long as the facility involved remains in service. Other related external corrosion control records should be retained for such a period that satisfies individual company needs.



References

1. NACE SP0572 (latest revision), "Design, Installation, Operation, and Maintenance of Impressed Current Deep Anode Beds" (Houston, TX: NACE).
2. NACE Standard RP0177 (latest revision), "Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems" (Houston, TX: NACE).
3. NACE Standard RP0285 (latest revision), "Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection" (Houston, TX: NACE).
4. NACE SP0186 (latest revision), "Application of Cathodic Protection for Well Casings" (Houston, TX: NACE).
5. NACE SP0286 (latest revision), "The Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines" (Houston, TX: NACE).
6. NACE SP0387 (latest revision), "Metallurgical and Inspection Requirements for Cast Galvanic Anodes for Offshore Applications" (Houston, TX: NACE).
7. NACE SP0188 (latest revision), "Discontinuity (Holiday) Testing of Protective Coatings" (Houston, TX: NACE).
8. NACE Publication TPC 11 (latest revision), "A Guide to the Organization of Underground Corrosion Control Coordinating Committees" (Houston, TX: NACE).
9. NACE Standard TM0497 (latest revision), "Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems" (Houston, TX: NACE).
10. ANSI/AWWA C 203 (latest revision), "Standard for Coal-Tar Protective Coatings and Linings for steel Water Pipelines Enamel and Tape Hot Applied" (Washington, DC: ANSI and Denver, CO: AWWA).
11. NACE Standard RP0375 (latest revision), "Field- Applied Underground Coating Systems for Underground Pipelines: Application, Performance, and Quality Control" (Houston, TX: NACE).
12. ANSI/AWWA C 214 (latest revision), "Tape Coating Systems for the Exterior of Steel Water Pipelines" (Washington, DC: ANSI and Denver, CO: AWWA).
13. ANSI/AWWA C 209 (latest revision), "Cold-Applied Tape Coatings for the Exterior of Special Sections, Connections, and Fittings for Steel Water Pipelines" (Washington, DC: ANSI and Denver: CO: AWWA).
14. Ronald Bianchetti, ed., Peabody's Control of Pipeline Corrosion, 2nd ed. (Houston, TX: NACE, 2001).
15. ANSI/AWWA C 213 (latest revision), "Fusion-Bonded Epoxy Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines" (Washington, DC: ANSI and Denver: CO: AWWA).

16. API RP 5L7 (latest revision), "Recommended Practices for Unprimed Internal Fusion Bonded Epoxy Coating of Line Pipe" (Washington, DC: API).
17. CSA Z245.20M (latest revision), "External Fusion Bond Epoxy Coated Steel Pipe" (Toronto, ON: CSA).
18. NACE Standard RP0394 (latest revision), "Application, Performance, and Quality Control of Plant-Applied, Fusion-Bonded Epoxy External Pipe Coating" (Houston, TX: NACE).
19. NACE Standard RP0185 (latest revision), "Extruded Polyolefin Resin Coating Systems with Soft Adhesives for Underground or Submerged Pipe" (Houston, TX: NACE).
20. DIN 30 670 (latest revision), "Polyethylene-Coatings for Steel Pipes and Fittings Requirements and Testing" (Berlin, Germany: DIN).
21. ANSI/AWWA C 215 (latest revision), "Extruded Polyolefin Coatings for the Exterior of Steel Water Pipe Lines" (Washington, DC: ANSI and Denver, CO: AWWA).
22. ASTM G 128 (latest revision), "Standard Guide for Control Of Hazards And Risks In Oxygen Enriched Systems" (West Conshohocken, PA: ASTM).
23. NACE Standard RP0274 (latest revision), "High-Voltage Electrical Inspection of Pipeline Coatings Prior to Installation" (Houston, TX: NACE).
24. ASTM G 8 (latest revision), "Standard Test Method for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
25. ASTM G 19 (latest revision), "Standard Test Method for Disbonding Characteristics of Pipeline Coatings by Direct Soil Burial" (West Conshohocken, PA: ASTM).
26. ASTM G 42 (latest revision), "Standard Test Method for Cathodic Disbonding of Pipeline Coatings Subjected to Elevated Temperatures" (West Conshohocken, PA: ASTM).
27. ASTM G 95 (latest revision), "Test Method for Cathodic Disbondment Test of Pipeline Coatings (Attached Cell Method)" (West Conshohocken, PA: ASTM).
28. ASTM G 9 (latest revision), "Standard Test Method for Water Penetration into Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
29. ASTM G 17 (latest revision), "Standard Test Method for Penetration Resistance of Pipeline Coatings (Blunt Rod)" (West Conshohocken, PA: ASTM).
30. ASTM D 2240 (latest revision), "Standard Test Method for Rubber Property↓Durometer Hardness" (West Conshohocken, PA: ASTM).
31. ASTM G 13 (latest revision), "Standard Test Method for Impact Resistance of Pipeline Coatings (Limestone Drop Test)" (West Conshohocken, PA: ASTM).
32. ASTM G 14 (latest revision), "Standard Test Method for Impact Resistance of Pipeline Coatings (Falling Weight Test)" (West Conshohocken, PA: ASTM).

33. M. Romanoff, Underground Corrosion (Houston, TX: NACE, 1989).
34. ASTM D 427 (latest revision), "Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method" (West Conshohocken, PA: ASTM).
35. ASTM D 543 (latest revision), "Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents" (West Conshohocken, PA: ASTM).
36. Federal Test Standard No. 406A, Method 7011 (latest revision), "Test Method for Resistance of Plastics to Chemical Reagents" (Washington, DC: GSA).
37. ASTM G 20 (latest revision), "Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
38. ASTM D 2304 (latest revision), "Standard Test Method for Thermal Endurance of Rigid Electrical Insulating Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).
39. ASTM D 2454 (latest revision), "Standard Practice for Determining the Effect of Overbaking on Organic Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
40. ASTM D 2485 (latest revision), "Standard Test Methods for Evaluating Coatings for High-Temperature Service" (West Conshohocken, PA: ASTM).
41. ASTM G 18 (latest revision), "Standard Test Method for Joints, Fittings, and Patches in Coated Pipelines" (West Conshohocken, PA: ASTM).
42. ASTM G 55 (latest revision), "Standard Test Method for Evaluating Pipeline Coating Patch Materials" (West Conshohocken, PA: ASTM).
43. ASTM G 21 (latest revision), "Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymetric Materials To Fungi" (West Conshohocken, PA: ASTM).
44. Federal Test Standard No. 406A, Method 6091 (latest revision), "Test Method for Mildew Resistance of Plastics by Mixed Culture Method (Agar Medium)" (Washington, DC: GSA).
45. ASTM G 11 (latest revision), "Standard Test Method for Effects of Outdoor Weathering on Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
46. ASTM G 6 (latest revision), "Standard Test Method for Abrasion Resistance of Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
47. ASTM G 10 (latest revision), "Standard Test Method for Specific Bendability of Pipeline Coatings" (West Conshohocken, PA: ASTM).
48. ASTM D 2197 (latest revision), "Test Method for Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion" (West Conshohocken, PA: ASTM).

Lampiran A**Pengujian Interferensi**

Sebuah kurva beta di gambarkan sebagai arus interferensi dinamik (fluktuasi) atau dihubungkan voltasi proporsional (sumbu tegak) lawan nilai berhubungan dengan potensial struktur ke tanah pada lokasi tertentu pada struktur efektif (sumbu datar). Jika hubungannya mendekati linear, gambar akan mengindikasikan bahwa struktur efektif menerima atau melepas arus pada lokasi dimana potensial struktur ke tanah yang diukur. Investigasi interferensi dinamik termasuk banyak gambar kurva beta untuk mencari titik maksimum arus tak bermuatan berinterferensi. Interferensi ditentukan saat hubungan arus tak bermuatan maksimum sudah berubah menjadi hubungan yang memperlihatkan bahwa arus yang dibawa sudah dicapai dalam area terpapar dengan pengambilan koreksi pengukuran. Koreksi pengukuran ini dilakukan dengan ikatan logam atau teknik pengendalian interferensi lainnya.

Appendix A**Interference Testing**

A beta curve is a plot of dynamic (fluctuating) interference current or related proportional voltage (ordinate) versus values of corresponding structure-to-soil potentials at a selected location on the affected structure (abscissa). If the correlation is reasonably linear, the plot will indicate whether the affected structure is receiving or discharging current at the location where the structure-to-soil potential was measured. Dynamic interference investigation involves many beta curve plots to search for the point of maximum interference-current discharge. Interference is resolved when the correlation of maximum current discharge has been changed to a correlation that shows that current pickup is being achieved in the exposure area by the corrective measures taken. These corrective measures may be accomplished by metallic bonding or other interference control techniques.

Lampiran B

Metoda Penentuan Probabilitas Laju Korosi dan Biaya jasa Perawatan

Perawatan system perpipaan termasuk perbaikan kebocoran korosi dan rekondisi atau penggantian semua atau sebagian dari sistem. Untuk membuat estimasi biaya yang termasuk, hal ini perlu untuk menentukan probabilitas korosi atau laju korosi yang terjadi. Metoda yang biasanya untuk memprediksi probabilitas dan laju korosi sebagai berikut:

(a) Mempelajari sejarah pada system perpipaan dalam pertanyaan atau system lain pada material yang sama pada area yang sama atau lingkungan yang sama. Kumpulan kurva frekuensi kebocoran dapat dinilai dengan cara ini

(b) Mempelajari lingkungan sekitar system perpipaan : resistivitas, pH, dan komposisi. Uji potensial *Redox* dapat juga digunakan pada tahap terbatas. Salah satu lingkungan sudah ditentukan, kemungkinan tingkat korosifnya ditentukan dengan referensi pada pengalaman korosi actual pada struktur logam yang serupa ketika kondisi lingkungan serupa. Pertimbangan kemungkinan perubahan lingkungan seperti hasil dari irigasi, aliran material korosi, polusi, dan perubahan musim pada kandungan uap air seharusnya diamsukkan dalam studi.

(c) Investigasi korosi pada system perpipaan dengan inspeksi visual pipa atau instrument secara pemeriksaan mekanik atau elektrik kondisi pipa. Kondisi perpipaan seharusnya ditentukan secara hati-hati dan direkod setiap waktu setiap bagian dari jalur yang diproteksi untuk berbagai alasan.

(d) catatan perbaikan menjelaskan lokasi kebocoran, kondisi tanah, survey potensial struktur ke elektroda, survey potensial permukaan, studi arus jalur, dan survey tebal dinding yang digunakan sebagai acuan untuk lokasi dari korosi maksimum..

(e) Perlakuan statistik data tersedia.

(f) Hasil pengujian tekan. Pada kondisi tertentu mungkin hal ini membantu untuk penentuan kondisi actual.

Appendix B

Method for Determining Probable Corrosion Rate and Costs of Maintaining Service

Maintenance of a piping system may include repairing corrosion leaks and reconditioning or replacing all or portions of the system. In order to make estimates of the costs involved, it is necessary to determine the probability of corrosion or the rate at which corrosion is proceeding. The usual methods of predicting the probability or rate of corrosion are as follows:

(a) Study of corrosion history on the piping system in question or on other systems of the same material in the same general area or in similar environments. Cumulative leak-frequency curves are valuable in this respect.

(b) Study of the environment surrounding a piping system: resistivity, pH, and composition. Redox potential tests may also be used to a limited extent. Once the nature of the environment has been determined, the probable corrosiveness is estimated by reference to actual corrosion experience on similar metallic structures, when environmental conditions are similar. Consideration of possible environmental changes such as might result from irrigation, spillage of corrosive substances, pollution, and seasonal changes in soil moisture content should be included in such a study.

(c) Investigation for corrosion on a piping system by visual inspection of the pipe or by instruments that mechanically or electrically inspect the condition of the pipe. Condition of the piping system should be carefully determined and recorded each time a portion of the line is excavated for any reason.

(d) Maintenance records detailing leak locations, soil studies, structure-to-electrolyte potential surveys, surface potential surveys, line current studies, and wall thickness surveys used as a guide for locating areas of maximum corrosion.

(e) Statistical treatment of available data.

(f) Results of pressure testing. Under certain conditions, this may help to determine the existence

Lampiran C**Kelompok Biaya Korosi**

Sebagai tambahan pada biaya langsung yang dihasilkan korosi, kelompok biaya termasuk:

- (a) Permasalahan klaim masyarakat umum;
- (b) Klaim kerusakan barang;
- (c) Kerusakan fasilitas alam, seperti, komunitas, irigasi suplai air, hutan, taman, daerah wisata;
- (d) Perbersihan produk yang lepas ke lingkungan;
- (e) Biaya mematikan dan menghidupkan pabrik;
- (f) Biaya kehilangan produk;
- (g) Kehilangan pemasukan karena berhentinya pelayanan;
- (h) Kehilangan kontrak atau kesempatan karena berhentinya pelayanan; dan
- (i) Kehilangan pendapatan atau nilai keuntungan dari system perpipaan.

Appendix C**Contingent Costs of Corrosion**

In addition to the direct costs that result from corrosion, contingent costs include:

- (a) Public liability claims;
- (b) Property damage claims;
- (c) Damage to natural facilities, such as municipal or irrigation water supplies, forests, parks, and scenic areas;
- (d) Cleanup of product lost to surroundings;
- (e) Plant shutdown and startup costs;
- (f) Cost of lost product;
- (g) Loss of revenue through interruption of service;
- (h) Loss of contract or goodwill through interruption of service; and
- (i) Loss of reclaim or salvage value of piping system.

Lampiran D**Biaya pengendalian korosi**

Biasanya biaya untuk melindungi struktur terpendam atau terbenam adalah untuk proteksi katodik lengkap atau sebagian atau penambahan eksternal coating dengan proteksi katodik. Biaya pengendalian korosi lainnya termasuk:

- (a) Pemindahan perpipaan untuk menghindari kondisi korosif yang ada (hal ini termasuk pemasangan jalur di atas tanah);
- (b) Rekondisi dan pelapisan eksternal system perpipaan;
- (c) penggunaan material tahan korosi;
- (d) penggunaan backfill terpilih atau mencegah;
- (e) Isolasi listrik untuk membatasi kemungkinan aksi galvanik; dan
- (f) Koreksi terhadap kondisi di dalam atau di luar pipa yang dapat mempercepat korosi.

Appendix D**Costs of Corrosion Control**

The usual costs for protecting buried or submerged metallic structures are for complete or partial CP or for external coatings supplemented with cathodic protection. Other corrosion control costs include:

- (a) Relocation of piping to avoid known corrosive conditions (this may include installing lines above ground);
- (b) Reconditioning and externally coating the piping system;
- (c) Use of corrosion-resistant materials;
- (d) Use of selected or inhibited backfill;
- (e) Electrical isolation to limit possible galvanic action; and
- (f) Correction of conditions in or on the pipe that might accelerate corrosion.









BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3,4,7,10
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : bsn@bsn.go.id